

# 消研輯報 44

平成2年度

---

【グラビア】

- 林野火災の拡大予測と立体地図

【紹介】

- 米国火災研究センターでの研究生活を顧みて
- 中国科学技術大学の火災科学セミナーへ講師として参加しての記

【解説】

- パソコンを利用した林野火災の拡大予測法の概要
- 繊維製品の高度防炎性能の評価の試み
- 原油のボイルオーバーに関する実験
- 水溶性液体用泡のメタノール汚染
- 救急車必要台数算定のための確率論的試み
- 火災性状把握システムについて

【消防研究所の研究活動】

- 「消防研究所報告」通巻69号（1990年3月）、通巻70号（1990年9月）掲載論文の概要
  - 「消防研究所月例研究会」要旨
-

目 次

〔グラビア〕

- 林野火災の拡大予測と立体地図

〔紹介〕

- 米国火災研究センターでの研究生活を顧みて……………山田常圭……………3
- 中国科学技術大学の火災科学セミナーへ  
講師として参加しての記……………山下邦博、長谷川和俊……………9

〔解説〕

- パソコンを利用した林野火災の拡大予測の概要  
……………山下邦博、稲垣 實、田村裕之……………14
- 繊維製品の高度防炎性能の評価の試み…箭内英治、斎藤 直……………16
- 原油のボイルオーバーに関する実験……………古積 博……………20
- 水溶性液体用泡のメタノール汚染……………林 幸司、星野 誠……………23
- 救急車必要台数算定のための確率論的試み……………寒河江幸平……………35
- 火災性状把握システムについて  
……………河関大祐、佐藤晃由、竹元昭夫、奥田善彦、神戸祥明  
広野淳之、野村淳二、栗尾 孝、中西慎治、草薙繁量  
藤岡 透、渡部祥文……………39

〔消防研究所の研究活動〕

- 「消防研究所報告」通巻69号（1990年3月）、  
通巻70号（1990年9月）掲載論文の概要……………48
- 「消防研究所月例研究会」要旨……………51

# 林野火災の拡大予測と立体地図



図1

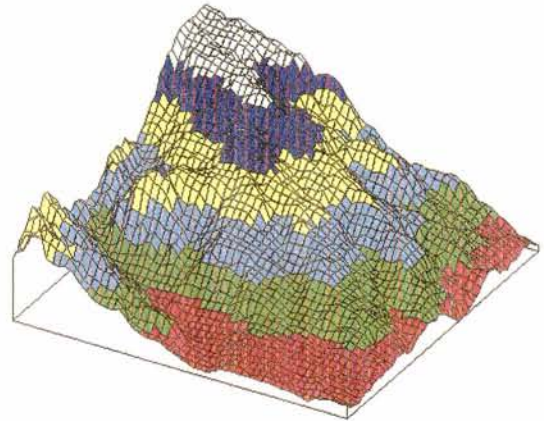


図2

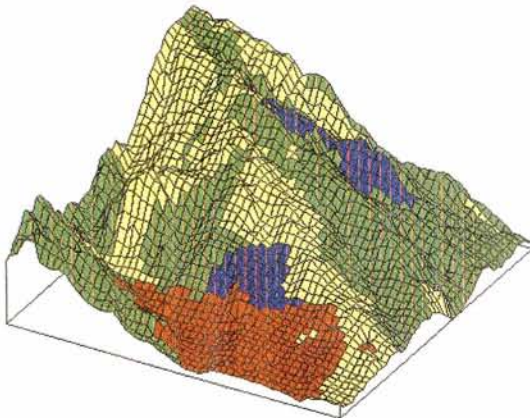


図3

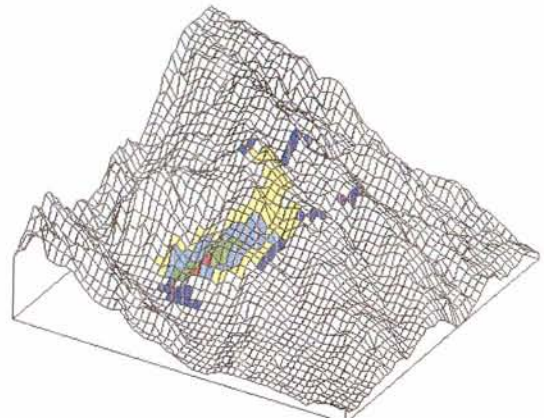


図4

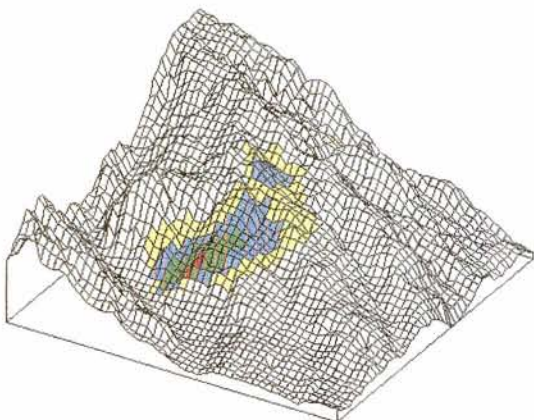


図5

図1 林野火災（湯河原町吉浜）の出火場所とその周辺の道路・自然水利、出火場所を赤丸印で示す。対象範囲5000m×5000m

図2 火災現場周辺の標高分布（150m間隔）  
 ピンク（0～150m）、ミドリ（150～300m）、ミズイロ（300～450m）、キイロ（450～600m）、アオ（600～750m）、シロ（750～900m）

図3 土地利用状況  
 ミドリー森林、キイロー原野・空地、アカー果樹園・宅地、アオーゴルフ場・草原

図4 出火後4時間の拡大予測結果（南南西の風、10%、消火活動あり）  
 出火点ーアカ、ピンクー延焼範囲（0～1時間）、ミドリー延焼範囲（1～2時間）、ミズイロー延焼範囲（2～3時間）、キイロー延焼範囲（3～4時間）

図5 出火後4時間の拡大予測結果（南南西の風、13%、消火活動なし）  
 出火点ーアカ、ピンクー延焼範囲（0～1時間）、ミドリー延焼範囲（1～2時間）、ミズイロー延焼範囲（2～3時間）、キイロー延焼範囲（3～4時間）

# 米国火災研究センターでの研究生活を顧みて

山田常圭

## 1. はじめに

筆者は、'89年8月から'90年7月迄の1年間、科学技術庁の長期在外研究員として米国商務省国立標準技術研究所（National Institute of Standards and Technology：以後NISTと略す）（写真-1）の火災研究センター（Center for Fire Research：以後CFRと略す）に客員研究員として滞在した。CFRには、当研究所から過去に2名派遣されており、概要について本誌でも既に一部紹介されている<sup>1)2)</sup>。ここでは、その後、組織上変化のあったNIST / CFRの研究所の最近の動向と、1年間にわたる研究生活で、印象深かったことをいくつか紹介したい。



写真-1 NIST本部棟 遠景  
(1990 3月末、筆者撮影)

## 2. NIST / CFRの概要紹介

CFRは、1974年に設立された国立の研究機関であり、現在、米国における火災研究の指導的役割を担っている。このCFRを初めて耳にする人のために、研究所の紹介から話を始めたい。

### 2.1 研究所の地理・気候条件

CFRが属するNISTは、米国の首都Washington D.C.の北西郊外約30kmに位置している。研究所の周辺は、10年程前迄、とうもろこし畑や牧場が広がる田園地帯であったと聞かすが、最近では、ハイテクの企業・研究所が集まってきており、科学技術地域として変貌しつつある。

緯度で比較すると、仙台の少し北になるが、地理的に

チェサピーク湾が内陸深く入り込んでいるため、米国の中でも夏は暑く湿気が多い所、と言われている。しかし、蒸し暑さでは、ひけをとらない東京から来ている筆者にとって、夏はそれほど苦にならなかった。一方、昨冬は、米国の気象史上にも残る厳冬と言われ、11月後半の感謝祭（Thanks Giving Day）には、早くも雪に見舞われた。また、翌年4月、ポトマックの桜が咲き終わった頃にも再び雪が降る、異常気象であった。特に、12月の初旬には、『体感気温で-40℃くらい、危険なくらい寒い（Dangerously Cold）ため外出は控えるように。』と天気予報が報じ、先行き不安を感じた時期があった。幸いにも、その後天候が持ち直し、1月に入ってから、小春日和の日々が続いて一息つくことができた。

大陸の気候というのか、天候は、総じてドラスチックに変わるという感じがした。もっとも実生活に関するかぎり、研究所も自宅も24時間全館冷暖房完備（ちなみに、民生部門における一人あたりのエネルギー消費量は日本の3倍とも聞か）であるため、車に乗り降りする以外には、こうした気象の厳しさを殆ど苦にせず生活できた。これ以外の中間の季節は、総じてカラッとした天候が続く、非常に快適であった。新緑あるいは紅葉した研究所構内の森の中を野生のリス、野兎、鹿が走り回っている光景は、滞在中、しばしば筆者の心をなごましてくれた。

### 2.2 NIST / CFRの組織概要

1年間滞在したCFRは、米国連邦政府、商務省付属の国立標準技術研究所（略称NIST）の1研究部門である。NISTは、1988年に国立標準局（National Bureau of Standards：略称NBS）から改称された。前身のNBSは、商務省所属の国立研究機関として1901年設立。科学技術に関わる国の標準を定め、それによって工業製品の信頼性を高めることを目的に設立された。設立当初は、長さ・重量等の計量機器の規格・標準に関わる試験研究が多かったようである。その後、研究領域が拡大し、現在では、基礎研究から新技術の開発迄、幅広く研究活動が行われている。

NISTは、大きく分けて材料科学技術研究所（Material Science and Engineering Laboratory）、国立計量研究所（National Measurement Laboratory）、国立コンピュータシステム研究所（National Computer Systems Laboratory）、国立技術研究所（National Engineering Laborator-

y) の4つの研究部門からなり、CFRは、このうち国立技術研究所の中に所属している。設立主旨から判断する限り、我国では、通産省工業技術院の付属研究所が、NISTに最も近い性格を有していると考えられる。

1988年の組織の改称は、同年8月23日の『通商と競争力に関する総括条項』(Omnibus Trade and Competitiveness Act) に基づいて行われた。この法律は、日本を初めとする諸外国の技術的な進歩により相対的に地盤沈下してきた米国の国際市場における競争力の回復・向上を目的として制定されたものである。この変更で『品質を向上させるための工業技術および手段の開発により産業界を支援し、科学上の新しい発明から生じる製品の商品化(特に中小規模の企業における)を図る』ことが、NISTの主要な役割となった。また、NBSの時代に手続き上難しかった民間からの研究資金の導入が、この変革で容易になったとも言われている。このようにNISTと産業界の結び付きが以前より緊密になり、研究の中でも技術移転(Technology Transfer)部門に主力が置かれるようになってきた。

CFRは、火災研究が国家的な研究プロジェクトとして取り上げられた1974年に、同じくNBSの一研究機関であった建築技術センター(Center for Building Technology:通称CBT)から独立した\*。CFRは、米国内の火災による損害を減ずる目的で設立され現在に至っている。CFRの研究活動は、『火災現象を支配する科学的法則を研究し防火安全のための基本的な知識を提供する。また、防火に関わる新規の法律の基礎となる技術的支援を行い、防火技術の実用化の技術的方法の開発を行う』こととCFRの研究所の案内に記されている。この設立主旨の詳細について興味ある方は、関沢の報告<sup>2)</sup>を参照されたい。

### 2.3 CFRの組織概要と研究予算

図-1に示すように、CFRは、2つの研究部\*\*とそれをサポートする2事務室、1実験棟、図書室等よりなる。職員数は、90年3月時点で、国内外からの客員研究員を含め99名。80名前後の研究職員、技術補佐員からなり、その内15名が国の内外からの客員研究員である。日本人客員研究員は私を含めて4名滞在していた。

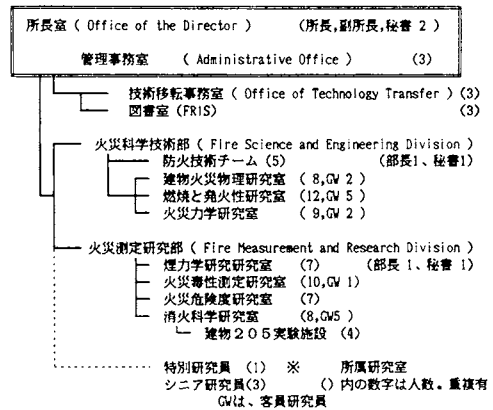


図-1 CFR組織概略図(1990年3月現在)

1986年度の職員合計138名に比べて、3割近い減となっている。

NISTの案内書によると、1988年のNIST全体の予算総額は、2億6千万ドル(1ドル150円換算で390億円)となっている。CFRの予算に関してまとまった資料を入手できなかったが、所属部長の話によると、議会を通じて配分される額が、約500万ドル弱(7.5億円)、その他、民間・他の国立研究機関・軍関係からの委託研究費が約400万ドル(6億円)と聞く。ただし、これらの研究費は、従事する研究員の給与と、NISTに納める施設運営費を含んでいるため、実質的な研究費は、この半分以下になる。

CFRの財政状態は、ここ5年以上厳しい状態が続いており、先にも述べたように組織の再編・研究員の人員調整がしばしば行われているようである。しかしながら、昨年、CFRの所長前任者がNIST所長に就任し、研究所全体の重点施策のひとつに『産業・公共の安全に関わる研究の推進』を掲げたため、再来年度くらいから徐々に予算状態が好転していく状況にあると聞く。

### 2.5 主な研究活動

現在、CFRが対外的に大きく力をいれているのが、民間企業等への技術移転に関わる部門(通称Technology Transfer)である。具体的にいえば、実験分野では、コーンカロリーメータと呼ばれている発熱量測定試験装置に関わる試験研究、理論分野では、火災危険度評価プログラム(Hazard-1)の開発に主力が置かれている。コーンカロリーメータは、発熱量測定試験法の統一化を図り、民間の材料メーカー等が開発した素材の防火安全性の判定に役立てることを、また、Hazard-1は、防火技術者・コンサルタント等の支援ツールとして、建物の防火安全設計に活かされることを目標に研究が進められている。こうした民間への技

\* 1990年10月、NIST内部で組織の大幅な変更があったことが、消防研究所の客員研究員としてCFRより来所中の、George Mulholland博士より報告された。CFRは再びCBTと合併しBuilding and Fire Laboratoryとして新しくスタートすることになった。また、これ以外にも、4つの研究所(Laboratory)の再編成が行われ、合計7つの研究所が設けられたようである。

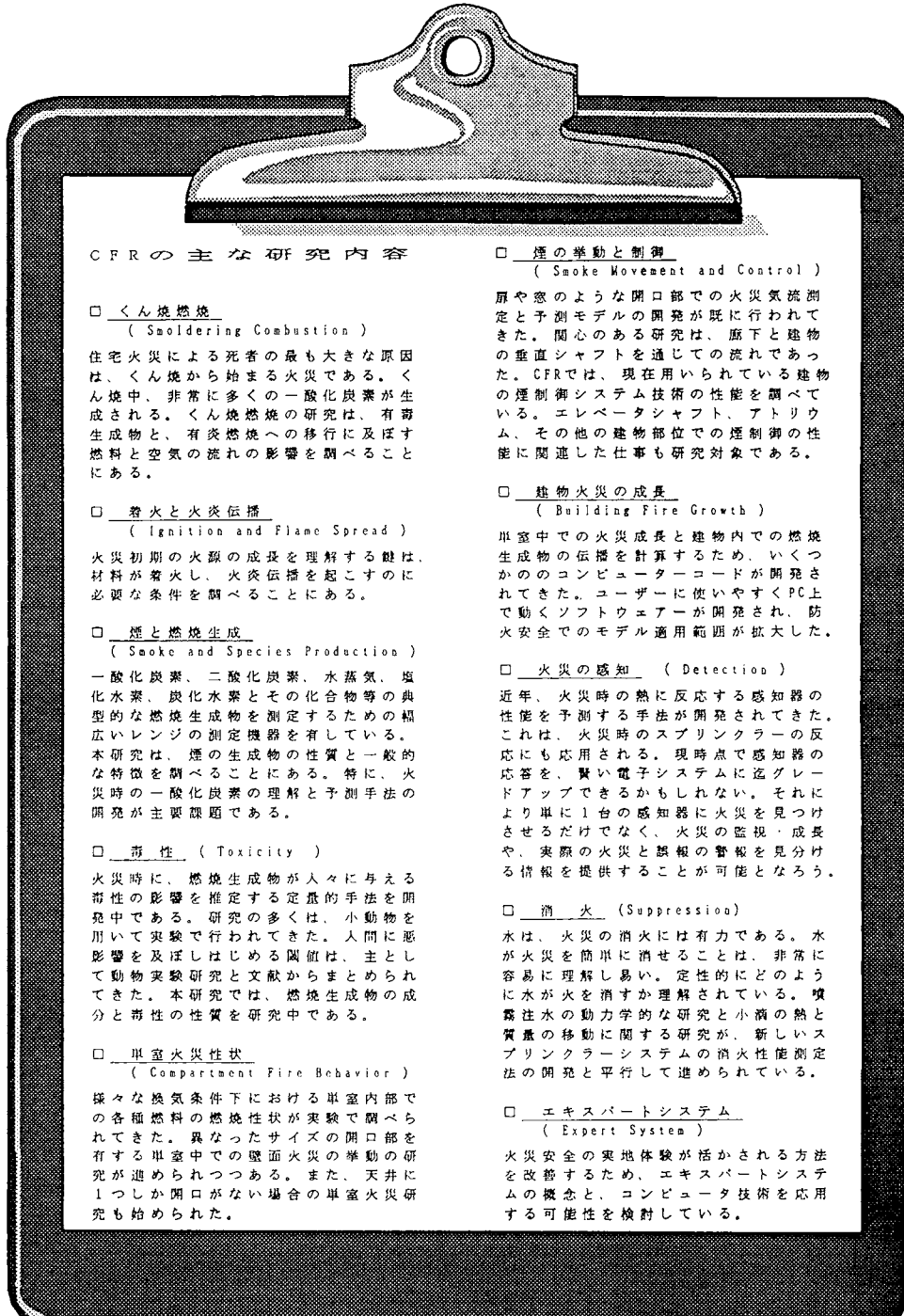
\*\* 10月の組織変更では、CFRの内部組織自体に大きな変更がなかったようであり、2部はそのまま新組織に引き継がれた。

術移転強化の動きは、全体概要の中で述べた NBS から NIST への改称とまったく無縁ではないと考えられる。

その他、表-1 のようなものが、研究所の案内書の

中に、主要な研究課題として紹介されている。ここで判るように、研究分野は、基礎研究から応用迄、非常に多岐にわたっている。

表-1 CFRの主な研究内容



**CFRの主な研究内容**

□ くん焼燃焼  
( Smoldering Combustion )

住宅火災による死者の最も大きな原因は、くん焼から始まる火災である。くん焼中、非常に多くの一酸化炭素が生成される。くん焼燃焼の研究は、有毒生成物と、有炎燃焼への移行に及ぼす燃料と空気の流れの影響を調べることにある。

□ 着火と火炎伝播  
( Ignition and Flame Spread )

火災初期の火源の成長を理解する鍵は、材料が着火し、火炎伝播を起こすのに必要な条件を調べることにある。

□ 煙と燃焼生成物  
( Smoke and Species Production )

一酸化炭素、二酸化炭素、水蒸気、塩化水素、炭化水素とその化合物等の典型的な燃焼生成物を測定するための幅広いレンジの測定機器を有している。本研究は、煙の生成物の性質と一般的な特徴を調べることにある。特に、火災時の一酸化炭素の理解と予測手法の開発が主要課題である。

□ 毒性 ( Toxicity )

火災時に、燃焼生成物が入々に与える毒性の影響を推定する定量的手法を開発中である。研究の多くは、小動物を用いて実験で行われてきた。人間に影響を及ぼしはじめる閾値は、主として動物実験研究と文献からまとめられてきた。本研究では、燃焼生成物の成分と毒性の性質を研究中である。

□ 居室火災性状  
( Compartment Fire Behavior )

様々な換気条件下における居室内部での各種燃料の燃焼性状が実験で調べられてきた。異なったサイズの開口部を有する居室中の環境火災の研究が進められつつある。また、天井に1つしか開口がない場合の居室火災研究も始められた。

□ 煙の挙動と制御  
( Smoke Movement and Control )

扉や窓のような開口部での火災気流測定と予測モデルの開発が既に行われてきた。関心のある研究は、廊下と建物の垂直シャフトを通じての流れであった。CFRでは、現在用いられている建物の煙制御システム技術の性能を調べている。エレベータシャフト、アトリウム、その他の建物部位での煙制御の性能に関連した仕事も研究対象である。

□ 建物火災の成長  
( Building Fire Growth )

居室中での火災成長と建物内での燃焼生成物の伝播を計算するため、いくつかのコンピューターコードが開発されてきた。ユーザーに使いやすくPC上で動くソフトウェアが開発され、防火安全でのモデル適用範囲が拡大した。

□ 火災の感知 ( Detection )

近年、火災時の熱に反応する感知器の性能を予測する手法が開発されてきた。これは、火災時のスプリンクラーの反応にも応用される。現時点で感知器の応答を、賢い電子システムに遠隔グレードアップできるかもしれない。それにより単に1台の感知器に火災を見つけさせるだけでなく、火災の監視・成長や、実際の火災と誤報の警報を見分ける情報を提供することが可能となる。

□ 消火 ( Suppression )

水は、火災の消火には有力である。水が火災を簡単に消せることは、非常に容易に理解し易い。定性的にどのような水が火を消すか理解されている。噴霧注水の動力学的な研究と小滴の熱と質量の移動に関する研究が、新しいスプリンクラーシステムの消火性能測定法の開発と平行して進められている。

□ エキスパートシステム  
( Expert System )

火災安全の実地体験が活かされる方法を改善するため、エキスパートシステムの概念と、コンピューター技術を応用する可能性を検討している。

## 2.6 CFRの主な実験施設・設備

多くの多目的小実験室が、研究室と隣接する形で研究室棟(通称 Polymer224)に設けられている。また、この研究室棟とは別に、実大規模での実験ができる火災実験棟(通称205実験棟)を有している。火災実験棟の主な研究施設としては、コーナ試験装置(室内の隅角部に火源をおいて、内装材の展炎性を調べる実験装置)、家具の燃焼時の発熱量を測定できるファンチャーカロリメータが挙げられる。また、研究室棟研究室に隣接した小実験室では、NBSスモークチャンバー、コーンカロリメータ等、CFRで開発された標準試験装置や、レーザー流速計を始めとする多くの測定機器が、燃焼に関わる基礎データ測定のため用いられている。

また、CFRでは、実験研究以外にコンピュータによる火災性状予測モデルの開発が盛んに行われている。そのため、パーソナルコンピュータ(PC)のレベルから、スーパーコンピュータまで多くの種類のコンピュータが用意されている。PCは、概ね、一人一台の普及率であり、これらのPCは、CFR内部のローカルエリアネットワーク(LAN)によって相互につながっており、LAN上でプログラムの開発作業が共同で行われているようであった。

その他、公共への情報公開の手段として、CFRBBSというPC通信の電子掲示板ホスト局を開局しており、公衆回線を通じて誰でもアクセスできるようになっている。この中には、FIREDOCと呼ばれる火災研究の文献検索システムも含まれている。日本からも国際電話回線を通してアクセス可能である。その通信手順(プロトコル)は、表-2に示すとおりである。興味ある方はアクセスを試みられたい。

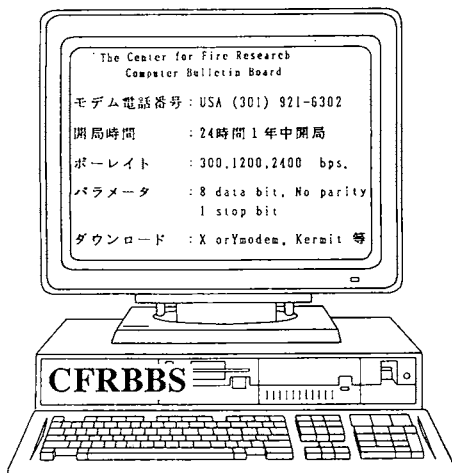


表-2 CFRBBSへのアクセス条件

## 3. CFRでの研究生生活体験

筆者は、CFRで建物火災物理研究室(Building Fire Physics Group)に属し、専ら建物内部での火災・煙の性状予測モデルに関する研究に従事した。研究の専門的な内容紹介は、別の機会に譲ることとし、ここでは、日常の研究生生活を通じて感じたことの中から、印象の深かったことをいくつか述べたい。

### 3.1 研究所での日常生活と研究環境

CFRの正規の勤務時間は、8時半から17時迄(途中昼休みが30分入る)の8時間勤務で、我国とはほぼ同じであるが、完全週休2日制になっている。時差出勤も暗黙裡に認められているようであり、朝の6時半に出勤し、3時頃には、退庁してしまう人もいる。概して、研究員の朝の出勤時刻は早く、8時45分前後に着くと駐車する場所が、玄関から少々離れた場所になってしまう。一方、夕刻、勤務時間が終わると、多くの研究員が早々と帰宅してしまうため、17時を過ぎると建物内は閑散としてしまう。夜遅く迄、実験の準備を行ったりする人もいるが、少数である。夜遅く迄仕事をする人は、日本のように「仕事熱心な人」として尊敬を得るより、むしろ「てきぱきと仕事が片付けられない能力のない人、自分の時間すら確保できない可哀なような人」と評価される傾向があるように感じられた。勿論、研究者の中には、自他共に認める仕事の虫で、何日も実験室に閉じ込もって研究に没頭するような人もいるし、管理職の多くは、普通の研究員より帰宅が遅い。そうした人の評価はまた別である。

1年の半分以上の期間、時計を1時間早く進める夏時間制を採用しているため、帰宅後から日没迄、結構まとまった時間がとれる。夕暮れになると近くの湖や公園で、家族揃って散歩・バーベキューを楽しんでいる姿をよく目にした。研究員にかぎらず、周囲の多くの米国人は、8時半から17時迄は仕事の時間、その他は、自分や家族のための自由な時間と、しっかりとけじめをつけているように見受けられた。そのかわり、勤務時間中は、真剣な顔つきになっている人が多く、仕事への集中度は、結構高そうであった。

交際面でいえば、夫婦揃って研究者の家庭に招待されることはあっても、仕事が終わって、ちょっと同僚と一杯、という交際は、私の知る限り皆無であったし、また、誰かが転職するような時も、Luncheonといって昼食時に近くのレストランで会食し、「それじゃあね! Good Luck!」と、いたって簡素なものであった。この点、忘年会・歓送迎会だといつては、飲み歩く習慣の国から来た筆者にとって、少々、物足りなく思え



たし、日本での滞在経験のある中国の友人が、「アメリカ人は、情が薄い。日本が懐かしい。」と言うのも無理からぬ状況であった。車社会であるため飲んだら帰れなくなるという事情もあるが、日常生活では、飾らず地に足のついた交際を家族ぐるみで永く続けることを第一に考える生活習慣の違いによる所が大であろう。

研究者をとりまく環境、とりわけ多くの情報が容易に得られるという点では、非常に恵まれていた。斬新な研究を進めていく上で、優秀で異なった考え方もつ多くの人々との情報交換が重要であることは言うまでもない。

CFR では、最低月に1回、平均して2~3回、所内あるいは所外の研究者による研究発表会が開催され、最新の研究情報を得ることができた。これは、自分の研究を進める上でのヒントを得たり、研究の視野を広める上で大いに役だった。また、NIST 全体の研究講演会も、研究同好会的な小規模のものから、ノーベル賞授賞者の記念講演まで幅広く、かなり頻繁に行われていた。これらの講演会の聴講は、研究活動を進めていく上で刺激になった。こうした講演会等、所内の研究活動の情報（開催日時、場所、講演者、概要等）は、毎週末に各研究者に配布される Techni-Calendar と呼ばれる所内の定期刊行物で事前に知ることができた。

既往の研究情報の入手に関して言えば、NIST と CFR の図書館が質量ともに充実しており、研究者が有効に利用できるような各種便宜が図られていた。例えば、文献の検索は、オンラインで迅速にでき時間の節約ができたし、NIST の図書館では、簡単な手続きで、NASA、大学等、別の機関から資料を取り寄せ借ることも、勿論可能であった。

その他、タイプライターの打ち方から、コンピュータの使用、研究者のための技術論文の書き方の講習会等、微に入り細に入り研究を行う上で必要となる教育訓練の機会が NIST 全体で準備されていた。施設や備品のようなハードな面ばかりでなく、ソフト面での研究の支援体制の拡充については、我が国でも学ぶべき点が多いように感じられた。

### 3.2 自由の国アメリカ？

米国は、自由の国だと言われる。しかし、われわれが、しばしば都合良く解釈したが、自由勝手気ままな自由とは、明らかに意味を異にする。例えば、研究成果を発表する際の手続き一つとってみても、日本と同じように何段階もの決裁の手順が定まっている。また「政府機関の研究者として対外的に発表する際、自分の立場を逸脱した発表をしないように。」と倫理教育を入所時に受ける。こうした、各種のルールに拘束

されている米国の研究者は、私が勝手にイメージしていた自由な国アメリカからはほど遠く、日本とあまりかわらない気がした。

ただし、研究活動において自由な発想を重んじるという点では、確かに日本の研究社会に比べて開けているのではないかと感じられた。日本ならば「そんな馬鹿なことを考えてもしょうがない。」と多くの人から言われると、「やはり、この研究を続けるのを止めようか。」と考える研究者が多いように思われるが、米国では「そりゃ、おもしろい。続けてみたら。」と言う人が、少なくとも一人ぐらいいそうであるし、「それでも地球は回る。」と持説の正しさに信念を持っている研究者が結構いる。また、それが尊ばれる風土が歴史的にもあるように感じられる。

しかし、自由と競争は、常に表裏一体であり、本能的外れなことをやっていると研究成果をあげないと、日本のような終身雇用性でないため、そのうち首になってしまふ。米国の研究員には、自由な考えを貫き通せる権利と裏腹に重い義務・責任が課せられている。こうした環境を、やりがいがあると思うか、厳しいと思うかは、その人の能力に依存すること大であろう。

### 3.3 自己主張の重要性

渡米に際し滞米経験者から「米国では、相手がこちらのしたいことを察して手助けをしてくれることはまずないから、自己主張することが重要だ。」ということを知っていた。研究所の中には、親日家もおり、日本人の消極性を理解してくれる人もいたが、一般的に言って、この忠告は当を得ていたといつてよい。希望が常に容れられるとは限らないが、臆することなく、どんどん意志表明していくことが、研究を進める上で不可欠であった。静かにして「彼は、奥ゆかしい、素敵な人だ。」と思われることは、まずなく、「彼は、何を考えているか判らない得体の知れない奴だ。おそらく米国人とつきあうのが嫌に違いない。彼のためにもそっとしておいてやろう。」こんな具合に物事が展開するのが普通のものである。「沈黙は金ではなく、無（Nothing）である。」と知り合いの米国人研究者から言われた。

所内の研究発表会、また日常の廊下で、研究者がお互いに興奮して、かなり辛辣に言い合い、おそらく日本だったら、後々まで感情的なしこりとして残りかねないような場面に何度となく遭遇した。しかしながら、いったん議論から離れると、表面的には何事もなかったようになるのが通例であった。小さい頃から議論に慣れているせいもあるが、ドライだと言われるアメリカ人の面目躍如たるところでもあり、こうした態度



には感心させられた。

私自身の経験でも、研究打ち合わせの場で、直属の上司から「私は、あなたを非難しようとしている訳ではない。率直に議論しあうことが、科学を進める上で非常に重要である。」と前置きがあった後、耳の痛くなるような点をいくつか指摘されたことがあった。その時は、あまり良い気持ちが出なかったが、今にして思えば、今後の研究生生活を進めていく上で非常に貴重な体験であり懐かしく思われる。

#### 4. おわりに

1年間のCFRでの滞在中、語学上のハンディキャップで歯がゆい思いをしたことは、数え上げればきりが無い。ちょっとした語学力不足のため誤解されてしまったり、逆に思いもかけずうまく事が運んでしまったこともある。しかし、総じて言えば、語学は、日常生活では、さほど大きな問題を引き起こさない。それより、習慣・物の考え方の違いが、より重要な問題に感じられた。

人種のるつぼと言われる米国では、様々な考え方・習慣をもつ人が生活しており、こうした違いに対しては、日本に比べて寛容であるように思える。先にも述べたが、科学研究の自由な発想を受け入れる風土と、この寛容さには、相通ずるものがある。それ故、習慣・考え方の違いが問題と前述したが、正確に言えば、違いそのものより、違いを正しく認識しその溝を埋め

られるかといった対応面が、日常生活で重要になってくる。残念なことに、私も含めて単一民族国家に暮らしている多くの日本人にとってあまり得意な分野ではないように思われる。この分野で私自身及第点がとれたかどうかよく判らない。

一方、この多様性のため、米国の全体像が把握しにくくなっているのも事実である。おそらく、同時期・同地域に生活した日本人においてさえ、毎日親しく付き合う人々、本人の興味の違いによって、非常に異なったアメリカ像をもつのではないかと感じている。滞在期間が短い場合は、なおさらである。それ故、客観的事実はともかく、今まで述べてきた内で主観的な部分は、あくまで私個人の理解によるものであるということを、最後に心に留めておいていただければ幸いである。

このように断ったのは、筆者のアメリカ認識に対する自信のなさからではなく、逆に、視点によって、様々な様相を有しているのがアメリカのひとつの大きな特徴だと強く信じているからである。

#### 文献

- 1) 古積博、：アメリカ及びカナダの火災研究機関、消研輯報 第40号 (1986)。
- 2) 関沢愛、：NBS火災研究センターの研究体制について - その組織と研究戦略一、同上。

# 中国科学技術大学の火災科学セミナーへ講師として参加しての記

山下邦博・長谷川和俊

## 1. まえがき

中国科学技術大学の范維澄教授から、消防研究所長谷川壽夫所長に、標記セミナーへの講師要請の打診があったのは、1990年6月末であった。その後、何回かの手紙あるいはFAXのやり取りの後、石油タンク火災部門及び森林火災部門にそれぞれ1名の講師派遣が求められた。講師として、石油タンク部門から長谷川和俊、森林火災部門から山下邦博の2名が派遣されることになった。筆者等が出席して判ったことであるが、今回、中国科学技術大学では中日火災科学研討会\*を計画しており、消防研究所の他に東京大学の平野敏右教授、鶴田俊助手及び建築研究所の鈴木弘昭氏が参加していた。結局、1990年10月21日から24日まで開催された中日火災科学研討会に日本から5名が参加した。以下、この研討会についての概要報告と、出張の間、中国で経験したいろいろなこと、印象に残った様々なことを書き綴ることとする。

## 2. 研討会の概要

1990年中日火災科学研討会は、安徽(アンホイ)省の省都である合肥(ホウヘイ)市にある中国科学技術大学に於いて、范教授の企画で開催された。そのプログラムを表1に示す。4日間で、講師14名による19件の講演が行われた。中国側代表講師は、中国科学技術大学の5名の他、大慶石油管理局、中国建築科学研究所、天津大学および天津消防研究所の各1名であった。聴衆者は、事前の手紙のやり取りの内容では教授、講師、技術職員および大学院生となっていたが、中国全土から約60名が集まり、中国科学技術大学教官、消防技術職員、中国科学院職員などであった。

講演内容は、主に、建物火災、石油タンク火災、森林火災の3部門であり、分野ごとの研究レビューの紹介および研究成果の発表が大半を占め、15件であった。その他、中国科学技術大学の火災科学研究所実験棟建設に伴う計画案等の紹介が4件あった。中国科学技術大学は、2年前にもこのような研討会を、中国の火

表1 1990年中日火災科学検討会プログラム

日付	講演者	内容
10月21日 (日)	范 維澄 (C) Prof. Fan Weicheng 中国科学技術大学教授 火災科学研究所所長	開会の辞
	王 其斌 (C) Mr. Wang Qibin 安徽省消防協会秘書長	祝辞
	東京大学平野敏右教授へ中国科学技術大学客員教授証書授与式	
	平野敏右 (J) 東京大学教授 中国科学技術大学客員教授	挨拶
	平野敏右 (J)	火災安全科学の現状と展望
	金 培孚 (C) Mr. Jin Peifu 大慶石油管理局	油田の防災および消火技術
	范 維澄 (C)	火災過程のモデリングについて
	長谷川和俊 (J) 消防研究所	消防研究所の紹介 石油類貯蔵タンクの火災特性 - ボイルオーバー特性 -
	山下邦博 (J) 消防研究所	森林可燃物の着火性
	鈴木弘昭 (J) 建築研究所	日本における建築防火研究 I
10月22日 (月)	鶴田 俊 (J) 東京大学	ガス爆発の概論
	火災科学研究所実験棟起工式	
	范 維澄 (C)	火災科学研究所実験棟建設主要説明
	霍 然 (C) 中国科学技術大学 火災科学研究所	小型建物火災模擬実験施設建設計画
	程 晓飭 (C) Dr. Chen Sao Fang 中国科学技術大学 火災科学研究所	熱放射実験施設建設計画
	黃 宗林 (C) Mr. Huang Dong Lin 中国科学技術大学	熱風洞実験施設建設計画
	火災科学研究所設立主旨討論会	
10月23日 (火)	李 引堅 (C) Mr. Li Yin Qiang 中国建設科学研究所	中国における建物防火研究の現状
	王 致新 (C) Mr. Wang Zhixin 天津消防研究所	火災理論と防火技術
	黃 允佑 (C) Prof. Goun Yun Yi 天津大学	摩接衝撃による発火機構に関する初步的研究
	万 斌康 (C) Mr. Wan Yun Peng 中国科学技術大学	建築防災のソフトウェアの開発
	平野敏右 (J)	防災の概念
10月24日 (水)	長谷川和俊 (J)	石油タンク火災事例とその安全対策
	山下邦博 (J)	PCによる森林火災の拡大シミュレーション
	鈴木弘昭 (J)	日本における建築防火研究 II

注) #: C, 中国代表; J, 日本代表

\* 中国主催者が掲げた看板の文字であり、本稿でこの会を指すときは研討会と記す。

災研究者を講師に招いて開いており、今度が2回目とのことであった。2年後にはアジア各国の火災研究代表者による3回目の研究会を開きたいと范教授は言っていた。

講演に対する質問は比較的少なく、聴衆の多くは講習会で講義を受けているという雰囲気であり、それ程活発な研究会ではなかった。日本側代表は、中国側の講演に対してはできるだけ質問やコメントをするようにした。講演会場での質問は少ないが、休憩時間に個人的に質問してくる人や、資料の請求をする人は少なくなかった。特に、英語を話せない場合には、OHP原紙のコピーを含めた関係資料全てを請求された。日本側は全て日本語で講演をし、逐次中国語に通訳された。中国側は中国語で講演し、通訳者によって寄り集まっている日本側参加者へ要点だけが伝えられた。通訳者は日本へ留学している中国人および留学したことのある同大学の教官であり、流暢な通訳であった。

プログラムは、予め決められたものではなく、随時変更された。筆者らが日本を発つときは、手紙のやり取りから22日の月曜日から始まるものと思っていたが、夜遅く宿舎に到着したときに見せられたプログラムは翌21日の日曜日の朝8時開会となっており、いささか慌てた。その後も講演順序、講演時間など何回か変った。

中国科学技術大学は安徽省の合肥市にある。この安徽省は上海から内陸に300~600km離れた省であり、面積は1,200万ha(日本国土の約1/3)、人口は約5,200万人にも達する。中国科学技術大学は、1958年の当時の科学院院長郭沫若が提案し、周恩来首相によって支持されて創立された。中国科学院が管轄する唯一の5年制理工系大学で、全国重点大学の一つでもある。清華大学とならび全国理工系大学の最高レベルにある。学部学生は、2,714名、うち少年班(平均年齢15歳前後で飛び級入学した学生)は145人、院生は北京に1,000名、合肥本校に142名で、教員は合肥本校に1,490人(1980年)いる。また、重点大学とは、1977年に統考(全国統一入試)が復活したあとで、全国675校のうち、96校が指定されたものである。本学は全国で400~500万人に達する統考受験生から本人の志望校を考慮のうえに優先的に成績上位者を入学させるため、学生のレベルは非常に高いとのことである。

### 3. 火災科学研究所実験棟起工式

研究会の最大のイベントは、検討会2日目に行われた中国科学技術大学の付置研究所である火災科学研究所の実験棟起工式であった。これは、2年前に建設される予定であったが、天安門事件の影響で延び延びとなり、今回、世界銀行からの借款が成立し、起工式に至った、とのことである。国家的な事業の一環としてこの火災科学研

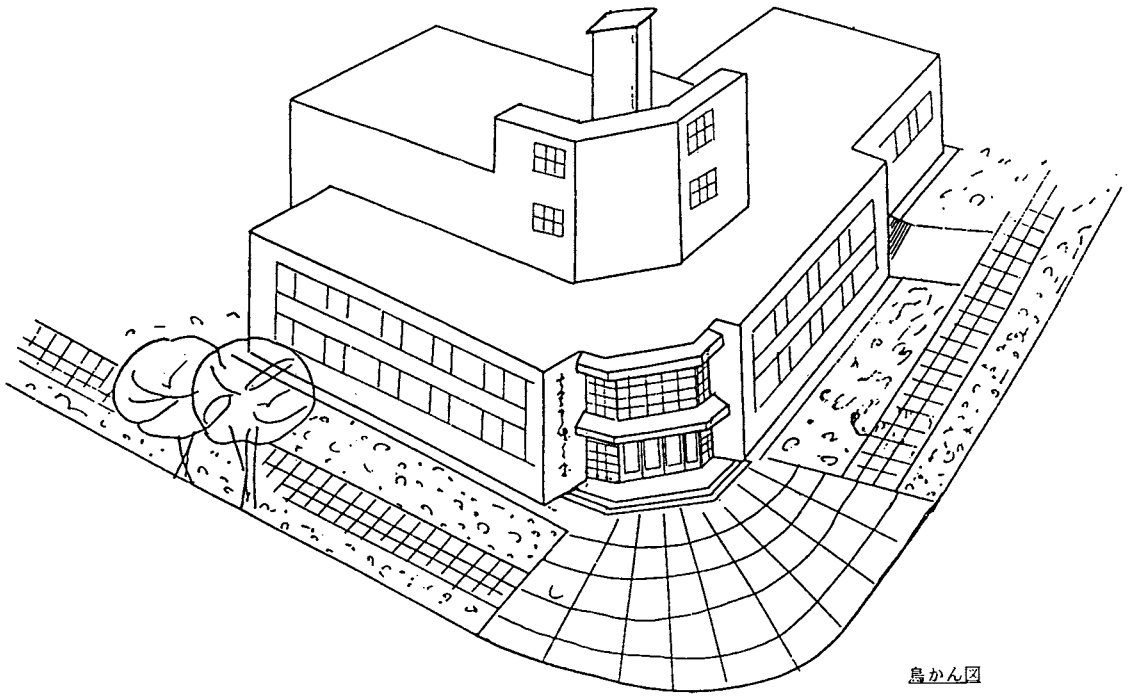
究所設立が計画されたものであり、実験棟の建設は具体的現れの1つである。その証拠に、起工式には李鵬首相から直筆の「火災科学研究所」の表看板が額に入れられて届けられた。(写真1参照)そして、爆竹が鳴り響く中で、安徽省副知事、中国科学技術大学学長、副学長らが祝辞を述べられ、起工式は盛大に取り行われた。彼らと同様に筆者らも参列でき、祝うことができたのは光栄であった。実験棟起工式の様子を写真1に示す。



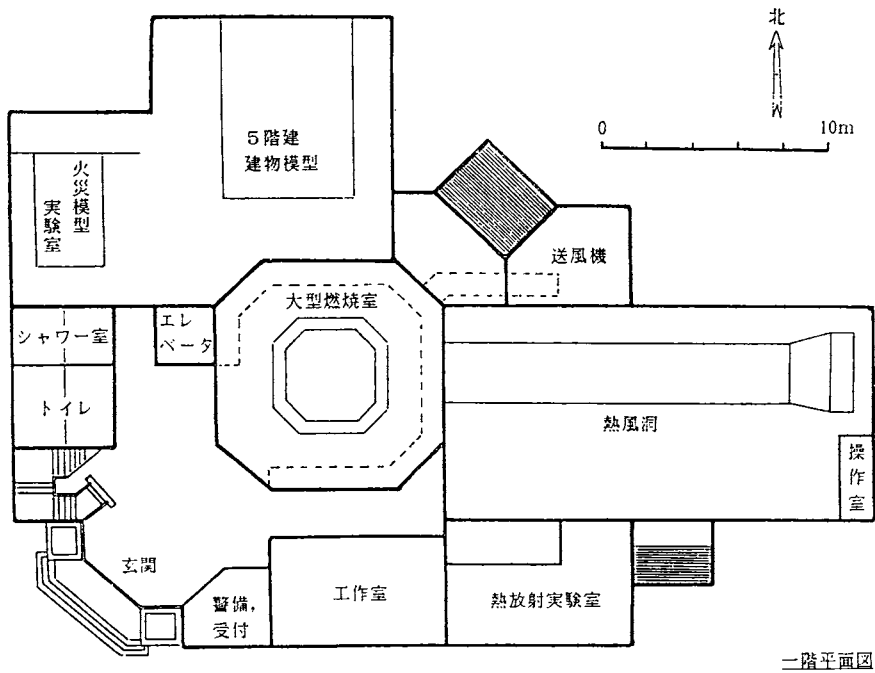
写真1 火災科学研究所実験棟の起工式後の記念撮影  
(李鵬首相直筆の表看板を囲んで、范教授は右から3番目)

起工式が行われた日の午後の研究会は、まず火災科学研究所設立の主旨説明の講演が同所長范教授によって行われた。研究所の目的は3項目からなり、(1) 火災科学の基礎研究、(2) 防災対策技術の開発および(3)人材の育成としていた。そして、この研究所は森林防火、消防防災、建物防火、石油施設防災、工場防災等の行政機関と直接的な関係を持つとしていた。研究体制としては、数値シミュレーション、火災統計解析、実験研究の3部門からなり、とくに実験研究に重点を置き、これは熱エネルギー計測、各種火災現象の解明および火災現象の実験シミュレーションから組み立てられていた。さらに、所長は、学術委員会と称する中国全土から招聘された火災関係の学識経験者からなる諮問機関を持つことになっていた。火災科学研究所の職員数は、所長以下秘書2名を含めて計30名であり、大学院生、研修生等を含めると約50名とのことであった。実験棟が完成し、研究が軌道に乗れば、火災の研究所として世界屈指の規模を誇ることになるだろう。

引き続き、実験棟に設置される建物火災模擬実験施設、熱放射実験施設および熱風洞実験施設の計画案についての説明がそれぞれの担当者から約30分間かけて行われた。図1に実験棟の鳥瞰図と1階平面図を示した。



鳥かん図



一階平面図

図1 火災科学研究所実験棟

火災科学研究所の紹介に関する講演が終わった後、討論会が夕食後 8時から開かれた。中国の火災関係の学識経験者に日本側代表 5名を加えた10数名によるものであり、火災科学研究所の目的、研究体制、研究課題のあり方、施設の問題点と今後など様々なことについて意見を求めるものであった。この討論会はきわめて活発なものであり、夜の10時を過ぎるまで行われた。日本側代表の 5名も大いに意見を述べた。火災科学研究所は発足間もなく、広く内外に指導を乞いたいという精神の現われで、きわめえ謙虚な態度であるように思えた。

#### 4. 生活のいろいろ

##### 4.1 上海から合肥へ

10月20日の朝 9時に成田を出発した飛行機は長崎空港で給油した後、上海に向かった。上海までは長崎から飛行機でわずか 1時間の距離である。飛行機が上海郊外の上空に到達したとき軽い感動を覚えた。眼下に広い中国が広がっていた。中国と日本の時差は 1時間であり、時計をちょうど 1時間遅くした。

上海の紅橋空港には大学関係者が出迎えてくれる筈であったが、そこには関係者がおらず少々不安を覚えた。しばらくして、再度関係者を捜しまわると HASEGAWA, YAMASITA と書いてある A 4程の大きさの紙を持っている人をようやく見つけた。

上海から合肥に向かう飛行機が 5時間ほど遅れるということで、多少の時間の余裕ができた。市内を車で走ってみると車が行き交う中を歩行者が勝手に横断し、自転車に乗った人も僅かなすき間を見つけて走り抜けていた。交通事故が起きないのは不思議に思える光景であった。

市内の主要なホテルで日本円を中国紙幣に交換した。それから飛行機が出発するまでにまだ時間があるので上海市内に出かけた。行き先は「上海の浅草」と言われる豫園（ユイエン）商場である。ここは小さい店が数多く並び、活気があった。日本人には、毛生え薬や痩せ薬を手に入れる絶好の場所であった。その商場の中心に豫園がある。これは1559年（明代）から77年にかけて作られた政府高官の大邸宅であり、庭は今でも蘇州の四大庭園の一つとして知られている。入場料は外国人は 2元で、中国人よりも高く設定されていた。この庭園は主に石で作り上げられたもので、当時の城の雰囲気があり、ゴツゴツした感じがした。

豫園商場は非常に混雑しており、狭い道路を多くの人が行き交い、「ウエイウエイ」という声を発しながら自転車のベルを鳴らして通り過ぎていった。自転車が何台も通るため、その声とベルの音は相当に強いもので、いつまでも頭に残った。出迎えてくれた人は、その付近は初

めてのようで、帰る時には道を間違えてしまった。豫園商場付近をブラブラする間、タクシーに待って貰っていたので、そのタクシーを見つけると急いで上海の紅橋空港に向かった。

上海を飛び立ってから約70分で合肥に到着した。既に午後 9時30分を過ぎていたが、空港には大学の副教授を始め多くの人が出迎えてくれており、すぐに宿舎であるゲストハウスに向かった。宿舎に着くとその副教授からスケジュール表を渡され、スケジュールの詳細、食事、風呂の利用等について説明を受けた。その説明によると明日の朝 8時から中日火災科学研討会を開催するので、朝 7時45分頃には車で迎えに来るとのことであった。明日は日曜日だから月曜日にあるであろう講演の準備は明日すればよいと考えていたので少々慌ててしまった。

##### 4.2 交通機関

今回の旅行のコースを図 2 に示す。行きは、成田から長崎空港を経て上海に入り、そこから飛行機で合肥に向かった。帰りは、合肥から同じ中国民航機で上海にでて、そこから大阪空港、羽田のコースとなった。合肥において仕事が一段落してから約200km離れた天柱山に登った。この間、我々が利用した交通機関は飛行機、タクシー、マイクロバスであり、それらを利用した時に起きた出来事とその感想を述べる。

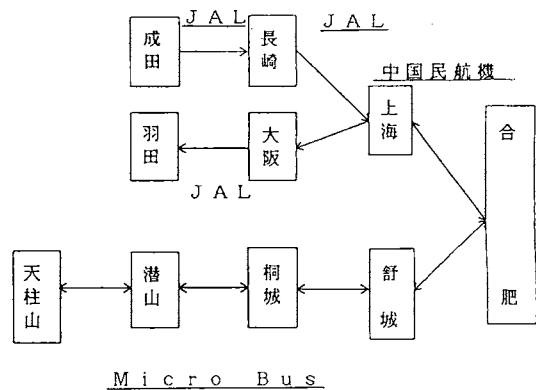


図 2 行程

上海から合肥に向かうには中国の民航機（中国東方航空）を利用した。この民航機は50～60人乗りの小型機で、ソビエト製のアントノフと思われた。上海の紅橋空港を飛び立つとき、ものすごい音を立てて滑走路を走ったが、なかなか飛び立たずきもきしてしまった。飛び立ってからしばらくすると、ステューデスがお菓子とジュースを運んできてくれた。我々の座席がエンジンのすぐ近くにあって、音がうるさく、しかも、すき間がいたる所にあり、飛行機に対する信頼感は得られ

なかった。

合肥に到着した日の翌日から4日間は殆ど大学と宿舎の間を往復した。朝7時45分に宿舎の玄関前に車がきて我々を大学に運んでくれて、会議に参加した。昼休みは11時30分から午後2時30分までであり、予想外に長かった。この間にゲストハウスで昼食をとり、午後の会議の準備をした。

6日目と7日目には1泊2日の計画で、マイクロバスに11人（日本人5人と中国の学生6人）が乗り、3～4時間ドライブして高さ1,825mの天柱山に登った。この山は観光地として最近開発された所で、大きな岩がそびえ立つ名所であった。

合肥から天柱山に向う際に、中国の農村部の生活をかい間みることができた。朝7時30分に合肥を出発すると至る所で朝市が開かれていて、そこには活気があった。朝市では、魚、豚肉、干物、まめ、野菜などが売られていた。

マイクロバスに乗って1時間経過してから道路際の公衆トイレを利用した。その公衆トイレは、土壁で周囲を囲んだだけのいたって簡単なもので、男性用と女性用に分かれていた。しかし、小用と大用とはすぐ隣にあり、大用の方でも仕切りがないためにためらってしまった。殆どの公衆トイレには仕切りと手を洗う場所がなく、少々戸惑った。

この旅行が、ちょうど稲刈りの時期であったため、農作業風景を見ることができた。手に鎌を持ち1株ずつ稲を刈り取り、幾つかの株をまとめ、大きな束にして、一箇所へ集める。そこには足踏み式の脱穀機が置いてあり、足踏みしながら稲穂を機械にかける人、粃（もみ）を集める人、藁（わら）や稲を整理する人…。農作業のほとんどが人力と牛馬力によるものであった。家の近くに流れる小川、裏庭などの沼や池で、食器を洗ったり、洗濯したり、野菜、魚などの食物を洗っている光景をよく見かけた。

#### 4.3 食べ物と紙幣

宿舎での朝食は、おかゆと漬物が主であり、それに蒸しパン、カステラ、豆乳、油条などが出された。油条は長

さ20cm程の棒状の揚げパンである。上海市内ではこの油条が焼き揚がるのを待つ行列が至る所でみられた。この宿舎の昼食と夕食に出されるお米は日本の物と比較すると粘りがなかった。しかし、後になってそれは天柱山付近で出されたお米よりもはるかにおいしいことが分かって、贅沢を言わずにすべて食べるようにした。

合肥周辺にはいくつかの河川、湖沼があり、そこから採れるエビ、魚が食卓に並んだ。歓迎パーティの席上で、日本では珍しいいくつかの料理にありついた。材料はスッポン、カニ、エビ、クラゲ、鯉等であり、中には突起のたくさんある牛の胃袋もあった。歓迎会の席上で、種々の酒とビールも試飲できた。それらの中にはアルコール濃度が60%にも達するものもあった。中国の通貨の単位は元（ユワン）、角（チャオ）、分（フェン）であり、1元=10角=100分である。1990年の銀行レートでは1元は約27円に換算される。外国人が使う紙幣と中国人が使う紙幣は異なり、それぞれ、兌換券、人民幣と呼ばれる。兌換券と人民幣は本来は同じ価値を持つものであるが、実際には兌換券の方に人気があった。

#### 5. おわりに

今回の旅行では、事前に中国関係者と十分な連絡が取れず、会議の詳細が不明のまま出発することになった。向こうについてから飛行機が5時間以上も遅れ、しかも、スケジュールがしばしば変更になり、当初はとまどいを感じた。しかし、中国では日本式の考え方を若干変える必要があるようであった。中国では飛行機は1日程度の遅があるものと予測して旅行のスケジュールを組む必要がある、1週間の間にこれだけの事が完了すればよいという柔軟な態度で会議に臨むことが必要のようである。

今回、中国の研究者と協力して火災科学研討会を成功させ、又、学生達と山に登って、山頂に到達した感動を分かち合った。国際化時代において、火災研究・消防関係者がこのような共通体験を通して信頼を深め合い、相互の立場を尊重しつつ火災科学についての研究協力を推進することが求められていると思われる。

# パソコンを利用した林野火災の拡大予測法の概要

山下邦博、稲垣 実、田村裕之

## 1. はじめに

近年、計算機の性能向上が著しく、かつて大型計算機で行われた計算をパソコンで実行することが可能になってきている。パソコンにより複雑な地形で発生した林野火災の拡大を予測し、その結果を立体視した地図（立体地図と呼ぶ）に表示することも可能である。大規模林野火災等の特定の林野火災について火災の延焼動態と消防活動状況を立体地図に記録し、地理不案内な関係者に対しても分かり易く伝えることは林野火災対策上有用と思われる。そこで林野火災用の立体地図を作成するとともに、諸条件下の飛火延焼を含んだ林野火災の拡大を予測し、その結果を立体地図に表示する手法を構築したのでその概要を紹介する。なお、本方式により林野火災の拡大を予測した結果をグラフィアに示した。（研究の詳細については消防研究所研究資料第22号を参照されたい）

## 2. 林野火災の拡大予測手法

### 2.1 データの自動読み取り

林野火災の拡大を予測するには対象地区全域について局地風を含む気象条件、林況、地況及び消防活動に関する膨大な情報が必要である。これらの情報を図面に描いてからそれらを計算機処理が可能なデジタルデータにおき換える必要がある。火災の拡大予測には対象地区を多数の格子線で区切り、各格子点における斜面情報が必要である。これについては地形図から全格子点について標高を読み取り、その標高データから斜面情報を作成した。全格子点の標高の読み取りは三色比高法により求めた。この方法はイメージキャナを用いて CRT 画面上に描いた地形図の等高線の間を青、赤、紫の3色に塗り分け、色変化から格子点の標高を求めるものである。全格子点の標高を求めた後で平滑化してモデル地形をなだらかなものにする。また、対象地区の土地利用状況、樹種分布、樹冠疎密度分布及び消防隊の活動位置についても同様の方法でそれぞれの図面からデジタルデータを得ることができる。消防隊の活動位置のように時間的に変化するデータについては図面を何枚も用意しておき、時間的な順序に

従って各図面を読み取りデータファイルを作成する。

### 2.2 林野火災用立体地図

立体地図は地形と森林、自然水利・道路等の各種情報との関連を総合的にしかも簡潔に表現する。この立体地図を森林情報地図、林野火災防御図、出火危険度地図に使うことができる。立体森林情報地図は立体地形図に道路、河川、集落などの地形情報を追加記録するものである。立体林野火災防御図は消防活動に関する情報を立体地図に記録して林野火災の地形環境及び消防活動環境を判り易く表示するものである。また、立体出火危険度地図は立体地形図に出火危険度の大小を色を変えて表示したものである。出火危険度は出火時刻、相対湿度、斜面方位、傾斜角、樹種、地被物に依存し、それぞれのカテゴリーウエイトを加算して求める。この出火危険度は場所で異なり、それを立体地図に表示することにより地形と危険度の関係及び諸条件が変化した場合の危険区域の変化を把握する上で有用である。

神奈川県湯河原町吉浜地区で発生した林野火災についてその地形環境及び消防活動環境を図1～図3（グラフィア）に示す。この対象地区の大きさは5,000m×5,000mの範囲であり、その地区の東方は海岸、西方は山側である。

### 2.3 林野火災の拡大予測

林野火災の地表面に沿う延焼は主に可燃物の種類・乾燥状態、風及び地形に影響される。森林地表面には種々の可燃物が混在し、それに応じて延焼速度は変化する。そこで広葉樹の落葉（含水率10～15%）を林床の標準可燃物・標準状態と想定し、その標準可燃物・標準状態について延焼速度（ $V_0$ ）と風速及び傾斜角の関係式を実験から求めて基準式として使用した。種々の可燃物が混在する場所の延焼速度 $V$ は標準可燃物の延焼速度 $V_0$ を利用して次式で計算する。

$$V/V_0 = S = (1 - r)^2 / \{\alpha / 2 + \beta\}$$

この式で $S$ は可燃物延焼速度比であり、この式の $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $r$ は地表にある可燃物のうち1級可燃物、1級可燃物、3級以下の可燃物のそれぞれの混在割合である。但し、 $\alpha + \beta + r = 1$ である。加熱温度を750℃に設定して求めた発炎時間から林床可燃物の燃え易さを1



級、2級、3級、4級及び5級に分類した。1級、2級、3級可燃物の発炎時間はそれぞれ0～0.5秒、0.5～1.0、2.0～4.0秒であり、級の高いものほど発炎時間が短く、火災に接触した時によく燃える。森林可燃物は乾燥するほど燃え易い。可燃物の標準状態として含水率が10%～15%の場合を想定しており、含水率が変化したときには発炎時間に応じて等級を判定する。

また、火災拡大を予測するには、消火活動位置、出動人員及び消防資機材等の消防力の時間変化に関するデータが必要である。消火活動による延焼阻止が十分に期待できる箇所では、その地点の可燃物延焼速度比を0にすることで延焼阻止効果を予測モデルに組み込む。また、飛火については過去の林野火災のデータを分析し、その結果を参考にして飛火延焼をこのモデルに組み込んだ。

実火災においては森林内の可燃物は均一に分布しておらず、また、延焼中に風向風速の変化があり、消防隊の活動位置が複雑に移動する。実火災の拡大を予測するには出火場所を想定し、事前に風向風速および消防隊の設定した防御線位置のそれぞれの時間変化をデータとして取り込むことが必要である。今回の拡大予測モデルでは風向風速は一定時間毎（1時間または2時間）に変化してもよいものとした。

神奈川県湯河原町吉浜の林野火災についてこのモデルを使って火災の拡大を予測し実際の火災と比較した。この火災は、昭和63年2月5日の朝9時55分頃に出火して強風に煽られ午後2時頃までの約4時間の間に著しく拡大したものである。その後、幸い降り出した雨に助けられて鎮圧できた。この火災の平均延焼速度は700～800m/hであり、焼損面積は201haに達した。この火災の焼損範囲をみると出火点付近では西風に煽られて東の方向に拡大しているが、火災全体の焼損範囲は南南西から北北東の方向に延びていた。観測によると出火時の風向は西で、風速は約10m/sであり、それ以降、風向はほぼ同じであるが風速は更に増大した。火

災全体の延焼動態図から判断して風向を南南西とし風速はそれぞれ10,13m/sと仮定した場合の火災の拡大予測結果をグラビアの図4と図5に示す。この図では出火点を赤、1時間ごとの焼損範囲をそれぞれ紫、緑、水色、黄色で、また、消防隊の活動位置を青で示した。風向は南南西で風速を10m/sとした場合の4時間の延焼範囲は実火災と概略一致するが、13m/sとすると延焼範囲は実火災よりも大きく、飛火延焼が現れた。この火災のように風向として観測されたデータを使うと火災の拡大予測結果が実火災と一致しない場合がある。この不一致の主な原因は山間部と都市部の風の相違によると考えられる。観測場所が地形の影響を著しく受ける場合があるため、火災の拡大を予測するときには火災の対象地区ばかりではなく、風向風速の観測場所を含めたより広い地域について局地風を検討することが必要である。

### 3. まとめ

パソコンを使って林野火災の拡大を予測する手法を検討した。林野火災の拡大は気象、地況、林相及び消防活動等の諸条件に影響されるため、その拡大を予測するには対象地域全域にわたる多くのデータが必要である。初めにパソコンとイメージスキャナを使って地形図から各地点の標高を自動的に読み取るプログラムを作成した。次に標高データを用いて立体地図を作成し、立体地図の林野火災対策への利用法を検討し、出火危険度地図あるいは防御活動地図として利用できる可能性があることを示した。さらに複雑な地形周辺で発生した林野火災の拡大について局地風、樹種、樹冠疎密度及び飛火を考慮した林野火災の拡大予測モデルを作成し、一つの実火災と比較してモデルの検証を行った。予測を行う場合には風向は遠く離れた市街地で観測されたものではなくむしろ火災動態図から推定した値を使う方が実火災とよく一致することが分った。

## 繊維製品の高度防災性能の評価の試み

箭内英治・斎藤直

### 1. はじめに

「防災」とは、火災が接している間は燃焼が継続する場合があるが、火災を取り除くとすぐ消えてしまう性質を言う。多数の人が集まるような病院、地下街、映画館、ホテルなどの防災防火対象物のカーテン、じゅうたん等床敷物等には、防災性能を持つもの「防災物品」を使うように消防法に規定されている。また、消防法に基づく防災物品以外にも人命安全、財産保護の視点から、寝具類、衣服類、布張り家具等の「防災製品」が市場に出されており、火災時に非難が容易にできない老人、身体障害者などの火災弱者に対しては、寝タバコによる火災を防止するために防災寝具類を使用するように指導がなされてきている<sup>1)</sup>。

繊維の防災化は、燃え易い繊維を防災薬剤で処理して燃えにくくすることである。防災繊維は普通の繊維と比較して燃えにくくした繊維であり、決して燃えないことを意味するものではない。しかし、火災の出火源としてタバコ等の小火源が多いこと<sup>2)</sup>を考慮すれば、防災繊維製品の使用は、火災予防、火災拡大防止のために重要な役割を担っているといえる。

近年、防災物品等の防災性能に高度な要求がなされる傾向がある。例えば、ISO/TC 98/SC 19/WG 3では、「カーテンの大出火源での火災実験」に関する検討が進められており<sup>3)</sup>、防災材料に対する新しい燃焼試験が試みられている。一方、日本に目を向けてみると、JR上越線で発生したイベント列車「アルカディア号」の火災事故は、内装材に防災材料が使用されていたにもかかわらず、出火車両が半焼したと報告されている<sup>4)</sup>。この例は、火源が大きかったためであり、ある程度の焼損は止むを得ないものであった。しかし、より一層安全性を確保するという立場から、高度な「防災性能」を持つ製品が要望されるのは当然のことである。

それでは、火災が進行した状態でも燃えにくい防災性能を調べるには、どのようにしたらよいだろうか？一つは、実際の火災を模擬して試験する方法があげられよう。例えば、カーテンは実物と同じように吊るし火源を大きくして試験すると言うような場合である。この方法は試験も大規模となり、費用、労力がかかりすぎる。また、火災を模擬するといっても火災状況は

千差万別に変化するものであり、それらを全て模擬することは不可能に近い。そのため、大規模な燃焼試験法は、現実に近いものであるが合理的な方法とはいえない。

もう一つの方法は、小さい試験法で行う方法である。この方法は、火災の進行状況をどのように小さい試験で模擬していくか難しい問題が残るが、費用や労力が少なくすむ。

ここでは、後者の試験方法による繊維製品の防災性能の評価についてももう少し詳しく述べることにする。

### 2. 高度防災性能の定義

消防法令で規定されている「防災物品」の防災性能試験法は、45°に傾けた試料に小さなバーナ火炎を接炎して行うものである。試験後の試料の炭化面積、残炎時間、残じん時間等が防災基準を満たしていれば合格となる。合格した防災繊維は、消防法令で定められる防災基準を満たしているが、ぎりぎり合格したものから不燃性のものまで含まれる。そして、この防災性能は、マッチ、タバコ、ライターなどの小火源に対して燃え広がりを防ぐ性能と考えることができる。すなわち、火災初期において小火源からの着火を防ぐ性能であり、例え着火しても燃え広がらせないで火災になるのを未然に防ぐ性能である。

近年、炭素繊維、アラミド繊維、ノボロイド繊維などの高度な防災性能を持った耐熱性繊維が開発され、自動車レーサーが着る特殊服、消防隊員が着る防火服、製鉄所、鋳物工場等の高温濾過材料、安全作業服などに利用されているが、将来、カーテン等の日常製品にも利用されることも考えられる。これらの繊維製品を利用して火災から身を守ったり、大きな火源でも火災になるのを防ぐことのできる高度な防災性能を試験しようとした場合には、現行の消防法令による合格基準を満たす満たさないという防災試験方法では、その性能の優劣を測ることはできない。そのためには、高度な防災性能を評価するための試験方法が別に考えられなければならない。

そこで、高度な防災性能を評価する上で「現行の防災基準を満たす材料・製品のランク付けされた防災性能」を高度防災性能と定義した。

### 3. 高度防災性能の評価

高度防災性能を評価するためには、火災の進行状態を模擬した火源（熱源）を考えなければならない。

一般に、燃焼試験法の火源として主にバーナー火源が用いられる。この場合、バーナー火源の火災の大きさを変えるなどして火災の進行状態を模擬することになる。火災を火源として利用する場合、火災規模を大きくすることは火災から試料へ入る熱量を大きくすることに相当する。そのため、自然対流の影響を強く受け必然的に規模効果が入ってくる。それ故に、小さな試料を用いた試験結果は、大きな試料で試験した結果と異なる場合がある。すなわち、小規模試験で高度な防災性能として認められたものが、実際の火災ではその効果がないということになりかねない。それに対して、試料の加熱源に放射熱を利用するという事は、前述の火災を試験火源とした場合のように火災により引き起こされる自然対流を無視することができ、試験規模によらず試料に与える熱量を人為的に変化させることができる。以上の理由からここでは、熱源に放射熱を利用することとした。ただし、燃焼の持続性、伝播性を見るために、着火源として小さなパイロット火炎を用いて試料に着火させた。このパイロット火炎は、主熱源の放射熱に影響ない程度の小さいものとした。

このようにして、外部から放射熱を加えた状態で、試料が燃え広がるか燃え続ける最低の試料へ入る単位面積当たりの放射熱エネルギー（以後、放射熱流束という）を求めることとした。この最低の放射熱流束を、ここでは「燃焼持続最低熱流束」と呼ぶことにする。

それでは、この「燃焼持続最低熱流束」によりどのようにして高度防災性能が測定できるのであろうか？それは、次のように概念的に説明することができる。

試料表面に様な放射熱を外部から加えた場合の試料表面の温度を考えると、熔融・収縮・熱分解等を起こすような場合、一般的に温度上昇は複雑となり数式で表現することはできない。また試料の化学的組成も時間と共に変化する。このような複雑な非正常な系でも、加熱の方法等の試験条件を一定にすれば、温度上昇は試料自身の化学的物理的性質によって決まってくる。すなわち、試料が燃え広がるか燃え続ける最低の試料表面温度にするための外部から加える放射熱流束、燃焼持続最低熱流束も、試料自身の化学的、物理的性質に依存することになる。したがって、この燃焼持続最低熱流束の大小を比較することにより高度防災性能の優劣を知ることができる。

現在ある試験法の中で、燃焼する雰囲気酸素濃度

を変化させて、燃焼し始める限界の酸素濃度を調べる酸素指数法という燃焼試験法がある。求められる限界の酸素濃度（酸素指数）は、大きいほど燃えにくいことを意味している。そこで、この方法をわれわれの目的とする火災が進行した状態での高度防災性能を調べるのに利用できれば、わざわざ新しい試験方法を考える必要もないことになる。しかし、酸素指数法における試料の燃焼状況を良く観察すると、炭素繊維、ノボロイド繊維などでは、炭火が燃えるようなおき火が小さな斑点状となって燃え下る現象がみられた。その他の繊維でも発炎燃焼を起こすが、限界付近で不安定になり突然消えたりする現象がみられた。これらの現象は火災の進行した状態では見られない現象である。したがって、繊維製品の高度防災性能を酸素指数法により評価することはできないと結論できる。事実、次に示すパイロット火炎と放射熱を併用する高度防災性能試験の結果と酸素指数法の結果との間には、何等相関関係は得られなかった<sup>6)</sup>。

### 4. 高度防災性能試験装置と実験方法

#### 4.1 高度防災性能試験装置

高度防災性能試験装置の構成図を図1に、本体の概要図を図2に示す。

高度防災性能試験装置本体の放射加熱炉として、国際標準化機構（ISO）の着火性試験装置<sup>7)</sup>に用いられる放射加熱炉を利用している。また、ISOのエアミックスバーナー<sup>8)</sup>に類似のバーナーを使用し、形成させた火炎長55mmのブタンガス火炎をパイロット火炎として用いている。この放射加熱炉の配置は、図2にみられるようにISOの着火性試験装置の配置（炉と試料は水平に置かれている）と異なっており、パイロット火炎の形成のさせ方も違っている。

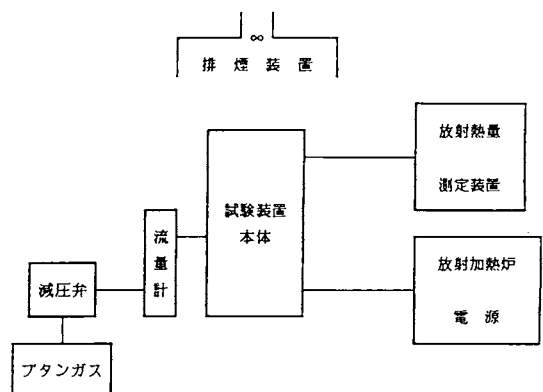


図1 高度防災性試験装置の構成図

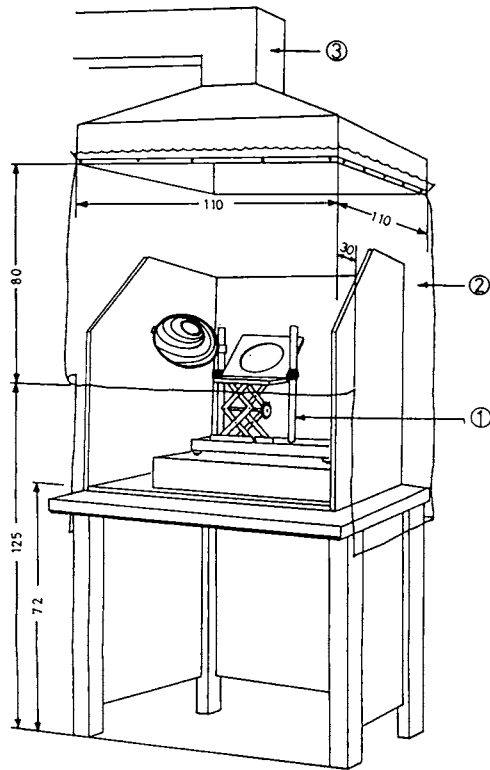


図2 高度防炎性能試験装置の概要図

- ① 試験装置本体
- ② 排煙用垂れ幕
- ③ 排煙フード (透明ビニール製)

試験装置本体は風防付きの架台に設置されており、試験時に発生する有害な煙を排出できるようにしてある。

また、熱により熔融収縮するポリエステルやアクリルに対しては、試験中に試料支持台の穴から試料が抜け落ちないように直径150mm、厚さ10mmのセラミックボード(カオウルボード)円板をアルミホイルで包んだものを試料支持台の直径150mmの穴にはめ込むようにした。なお、セラミックボードをアルミホイルで包んだ理由は、ポリエステルなどの熔融性試料が熔融した際にセラミックボードにしみこまないようにするためである。

試料保持方法は、綿、アラミド、炭素繊維、ノボロイドなどのように非熔融性繊維に対しては、試料周りを固定して試験をした。しかし、熔融収縮するポリエステル、アクリルについては、試料周りを固定すると、火炎を接した際に穴があいたり、固定された方向に引っ張られて火炎から試料が逃げてしまうために、中心にステンレス製の針金を張った図3のような試料保持枠を用いた。

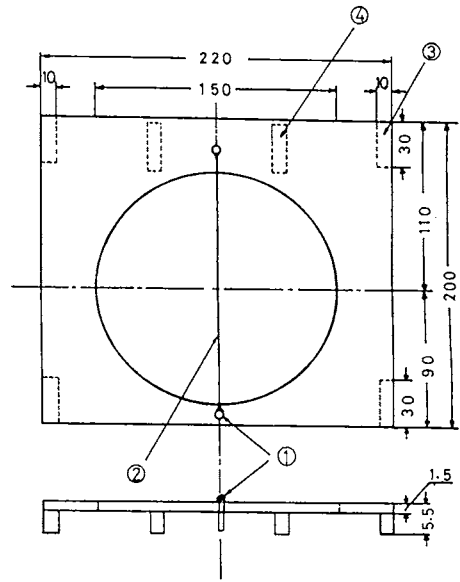


図3 熱溶解性試料押え枠

- ① 試料押えネジ
- ② 針金
- ③ スペーサー
- ④ 試料ガイド

#### 4.2 試料

試験を行なった非熔融性繊維織物試料を材料別に分けると、綿7種、レーヨン2種、羊毛2種、アラミド6種、ノボロイド2種、炭素繊維4種の計23種類である。また、熱収縮性試料は、ポリクラール2種、難燃アクリル6種の計8種類である。熱溶解性試料は、難燃ポリエステル6種類である。これらの試料全てについて結果を示すのは説明が複雑になるので、材料ごとに1~2種類を選んだ10種類についてのみ、ここでは示すことにする。材料の一覧表を表1に示す。表中の番号は、任意に付けた番号順であり、特に意味はない。

これらの試料は、50℃に保ったオープン中で24時間乾燥させ、2時間以上シリカゲル入りデシケータ中で放冷し実験に用いた。

表1 試料一覧表

材料名	試料番号	特徴(色)	試料重量 (g/m <sup>2</sup> )	試料厚さ (mm)	備考
綿	10	水色	215	0.40	防炎加工
	11	緑青	165	0.20	防炎加工
レーヨン	5	緑緑	365	0.90	防炎加工
羊毛	24	クリーム緑	285	0.60	防炎加工
アラミド	16	ウグイス色	265	0.70	
ノボロイド	14	金茶色	185	0.55	
炭素繊維	9	黒	240	0.45	
ポリクラール	26	ピンク	190	0.55	
アクリル	32	茶	410	1.60	
ポリエステル	35	白	100	0.30	

### 4.3 試験方法

非熔融性試料と熱熔融、収縮性試料では、試料の保持方法がそれぞれ少し異なるが概ね以下の操作手順で試験を行った。

試験手順は、以下の通りである。

- 1) 放射加熱炉の電源を入れ、所定の放射熱出力が得られるように入力電力を調整する。
- 2) 放射加熱炉が安定し、試料支持台中央における熱流束が、所定の値に達していることを放射計で確認する。
- 3) 試料をデシケータから取り出し、試料支持台上にできるだけたるみのないように押え枠で取り付ける。
- 4) 燃料流量を規定値に調整、点火し、火炎が十分安定化したパイロットバーナーをバーナー支持台ガイドに沿って置く。
- 5) 試料を加熱するように放射加熱炉を移動、固定し、手早くパイロットバーナーをガイドに沿って標線まで滑り込ませる。
- 6) バーナーが正しくセットされたらストップウォッチにより時間の計測を開始する。
- 7) 30秒経過したら、バーナーを取り去る。
- 8) 60秒経過した後、放射加熱炉を撤去する。
- 9) 試料支持台中央での熱流束  $0 \text{ W/cm}^2$  から試験を始め、その後  $0.5 \text{ W/cm}^2$  増加するように入力電力を調整し、2)以降の操作を放射熱流束  $3 \text{ W/cm}^2$  を限度として繰り返す。

なお、試料の燃焼経過を目視により観測し、同時に、高速度ビデオ（NAC社製、HVS-400）を用いてこれらの試験経過を記録した。

### 5. 試験結果と考察

非熔融性繊維織物については、試料の火炎が試験面上端まで伝播したことが一度でもあった場合の最低の放射熱流束を、また、熱熔融、収縮性試料については試料が加熱炉を撤去するまで燃え続けることが一回でもあった場合の最低の放射熱流束を求め、その結果と現行の消防法令による防災性試験結果との関係を表2に対比して示す。

表2の結果から防災繊維織物に関しては、燃焼持続最低熱流束を評価基準にとれば、現行の防災基準を満たす防災繊維織物の防災性能の順位付けを行うことが可能となる。すなわち、燃焼持続最低熱流束が大きいほど高度な防災性能を持つといえる。また、現行の消防法令の防災性能試験に合格するには、今回行った実験の結果では燃焼持続最低熱流束が  $1.5 \text{ W/cm}^2$  以上であれば良いことも分かる。

表2 高度防災性能試験と防災試験の比較

材料名	試料番号	防災基準 適合	燃焼持続最低熱流束 ( $\text{W/cm}^2$ )	備 考
綿	10	合格	1.5	発炎燃焼
	11	不合格	1.0	発炎燃焼
レーヨン	5	合格	1.5	無炎燃焼
羊毛	24	合格	2.0	発炎燃焼
アラミド	16	合格	3.0	発炎燃焼
ノボロイド	14	合格	>3.0	
炭素繊維	9	合格	2.5	発炎燃焼
ポリクラル	26	合格	1.5	発炎燃焼
アクリル	32	合格	2.0	発炎燃焼
ポリエステル	35	合格	2.0	発炎燃焼

ただし、防災性能試験結果において非熔融性試料と熔融収縮性試料とでは、試料の保持方法等が異なっているために、熱的条件も異なり単純に燃焼試験結果を相互に比較することはできない。しかし、条件を同じにすることは、十分に可能であり現在その対応関係を検討している。

なお、全ての結果については、既刊の報告書<sup>6)</sup>を参照されたい。

### 6. おわりに

繊維製品の高度防災性能の評価について、その必要性、評価方法等について述べた。そして、非熔融性試料、熱収縮性試料については、高度防災性能の評価が十分に可能であることが分かった。熱熔融性試料の場合は再現性が乏しく、これについては現在研究中であり、今後の課題の1つである。

### 7. 参考文献

- 1) (財)日本防災協会、“繊維と防災”、p. 64 (1983)
- 2) 消防白書
- 3) 防災ニュース、No.94、p. 20 (1988)
- 4) JR東日本、「アルカディア号火災事故調査委員会報告書」(1988)
- 5) 斎藤直、火災、39、3、p. 9 (1989)
- 6) (財)日本防火研究普及協会、“防災物品等にかかる防災性能の高度化に関する研究報告書(その2)” (1990)
- 7) ISO 5657, "Fire test - Reaction to fire - Ignitability of building products" (1985)
- 8) ISO 6940, "Textile fabrics - Burning behaviour - Determination of ease of ignition of vertically oriented specimens" (1984)

# 原油のボイルオーバーに関する実験

古積 博・Matti Kokkala \*

## 1. はじめに

原油は大規模石油タンクで最も広く貯蔵されている油種である。そのタンクが火災となった場合にはタンク下部に存在する水が、長時間の燃焼の後に、高温になった油の熱のために一挙に気化し、上層部の燃焼している原油を上空に吹き飛ばすボイルオーバーと呼ばれる現象を起こすことがある。その結果、噴出した油は爆発的な燃焼となる。ボイルオーバーは石油タンクの災害の中でも最も危険なものの一つであり、例えば、1982年のベネズエラのタコアでの重油タンク火災では発災後約6時間後にボイルオーバーが起こり、消防隊員等約150人が死亡するという惨事になった。また、1983年のイギリスのミルフォールドヘブンの原油タンク火災でも激しいボイルオーバーが起こった。しかし、原油のボイルオーバーに関する研究は、研究そのものが危険なこと等のために十分行われているとは言えない<sup>1)</sup>。特に燃焼層厚さとボイルオーバーの激しさ、ボイルオーバーが起こるまでの時間について、系統的な研究は少ない。そこで、著者らは特にこれらの点について実験を行ったのでその概要を紹介する。

## 2. 実験

消防研究所の排煙処理装置付消火実験場(24m×24m、高さ20m)の中央ではほぼ無風の条件で実験を行った。図1は実験装置の概要である。使用したタンクは直径0.3m、0.6m、1m、2m及び2.7m角でタンク高さは0.2m-0.7mの鋼製容器である。激しいボイルオーバーが起こることが予想される時には燃焼タンクをより大きなタンクの中に入れて危険防止を図った。

広角の放射計をタンク中心からその直径の5倍及び7倍離れた点に置いて火災から周囲への放射熱を、また、液面計を使って燃料の燃焼速度(液面降下速度)を、ステンレスシースのK型熱電対によって火災及び液層(燃料、水)の温度を測定した。データはコンピューターに記録し、また、チャート式の記録計も用いた。使用した燃料は石油会社から購入したアラビア

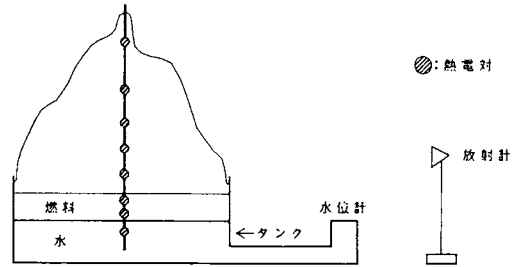


図1 実験装置概要図

ンライト原油のほか、参考のために、A重油、灯油を使って同様の実験をした。なお、実験方法の詳細は参考文献を参照のこと<sup>2)</sup>。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 原油のボイルオーバーの様子

ボイルオーバーは長時間の燃焼の後に起こる。図2は1mタンクに原油を10cmの厚さ分入れて燃焼した場合の周囲地点での放射強度の時間変化である。放射計はタンク中心からタンク直径の5倍及び7倍離れた点に置いた。点火32分後にボイルオーバーが起こり、周囲への放射熱が急激に増加すると共に燃料がまだ十分残っているにもかかわらず火災は消えてしまったが、これは、急激な水沸騰が起きた際に水と原油の混合が起こり、その結果、原油の温度が低下して燃焼継続に

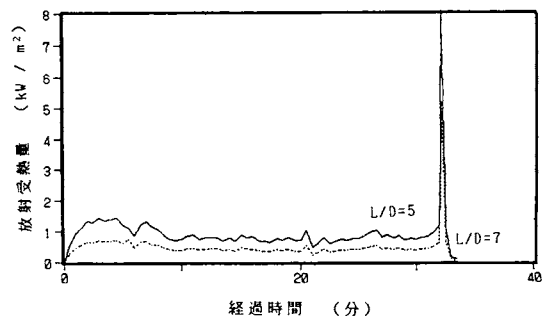


図2 1mタンク火災から周囲への放射熱の時間変化  
放射計はタンク中心からL/Dが5及び7の位置に設置した。Lはタンク中心から放射計までの距離、Dはタンク直径。

\* フィンランド技術研究センター

必要な蒸気を形成することが出来なくなったためと考えられる。

同様なボイルオーバーの現象は、2.7mのタンクを除いてほかの大きさのタンクでも、激しさに相違はあるが、概ね燃料層が5cm以上の時に起き、燃料の厚いときほど激しいボイルオーバーが起きた。2.7mのタンクの場合にはボイルオーバーが起きた場合には、燃料の飛散や放射熱のために相当の危険が予想されるので、今回の実験では燃料層が3cm程度の条件でのみ行った。この条件では若干の水の飛散が見られる程度であった。

このようなボイルオーバーの激しさは、燃料層の厚さのほかにタンクの大きさによって決まると考えられる。同じ厚さの燃料層ならばタンクが小さいほどボイルオーバーが激しいことが判った。

### 3.2 ホットゾーンの形成

ボイルオーバーは燃料層中に高温度領域（ホットゾーン）が形成され、それが燃焼の進行と共に成長しながら降下して下層の水層に達した後一挙に水への熱伝達が行われ、そのために、水の沸騰が起こると言われている<sup>3)</sup>。そこで、同じ実験で液内温度（燃料層及び水層）の時間変化を調べたところ、図3のようになった。熱電対がホットゾーン域に入ると温度は急激に高くなって、また、ほぼ一定の温度となる。次いで、熱電対が液面から出ると火炎温度を示すために、また、急激に温度が上がっている。このデータをもとに液層内の温度の時間変化を調べたところ図4のようになった。図中の数字は点火からの時間である。時間と共にホットゾーン厚さが大きくなり、かつ、その温度が上昇しているのが判る。ボイルオーバーの直前ではその温度はほぼ400℃に達した。

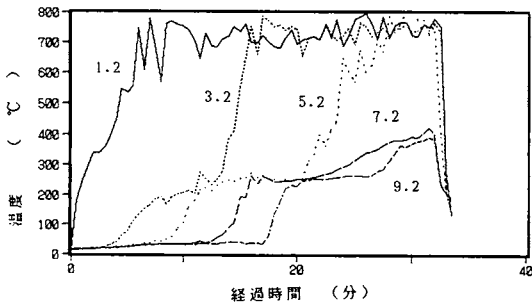


図3 液層温度の時間変化（1mタンク火災）

熱電対はタンク中心軸上に固定しており、図中の数字は点火時の燃料層表面からの距離（cm）。

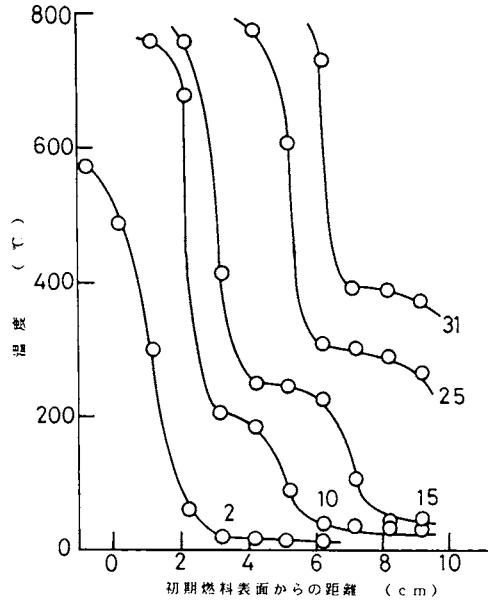


図4 液層温度の上昇過程（1mタンク火災）

図中の数字は点火からの経過時間（分）

初期燃料表面とは点火時のもので点火後は燃料面の位置は燃焼と共に徐々に低下する。

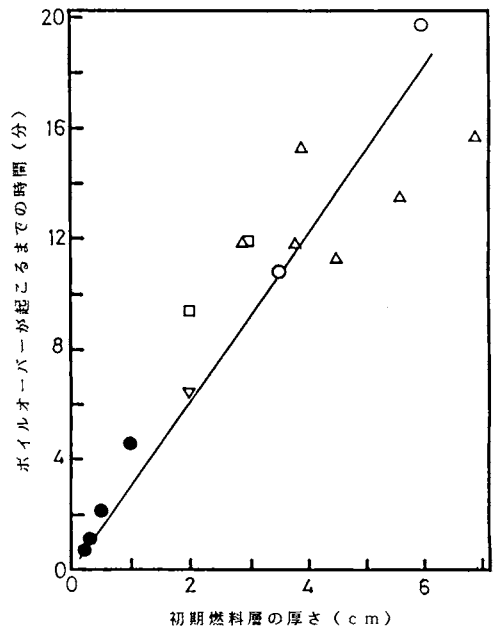


図5 ボイルオーバーが起こるまでの時間と初期燃料層厚さの関係

○：0.3mタンク △：0.6mタンク  
□：1mタンク ●：2mタンク  
▲：2.7m角型タンク



### 3.3 ボイルオーバーが起こるまでの時間及びその激しさ

ボイルオーバーが起こるまでの時間及びその激しさは燃焼開始前の燃料層の厚さと関係がある。図5はボイルオーバーが起こるまでの時間と燃料層厚さの関係を示している。ホットゾーンの降下速度はタンク直径に関係なくほぼ一定であり、それが水層に達した時にボイルオーバーが起こることが判る。図6は燃料層の厚さとボイルオーバーの激しさの関係について示したものである。ボイルオーバーの激しさは定常燃焼時の平均液面降下速度とボイルオーバーが起きたときの最大液面降下速度の比で表している。燃料層厚さが厚い程、ボイルオーバーが起こるまでに時間が掛かり、その結果、形成されるホットゾーンの厚さも厚くなると考えられる。

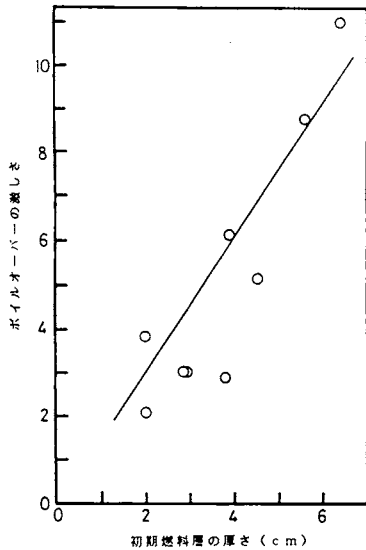


図6 初期燃料層の厚さとボイルオーバーの激しさ ( $V_{b0}/V_n$ ) の関係 (1 m タンク 火災)  
 $V_{b0}$  はボイルオーバーが起こった時の液面降下速度、 $V_n$  は定常燃焼時の液面降下速度

### 3.4 A重油、灯油の燃焼

A重油、灯油がボイルオーバーを起こすかどうか直径1 mのタンクを使って同じ条件で燃焼させて比較した。なお、灯油はボイルオーバーを起こさないと言われているが、念のために実験を行った。いずれの場合にも、原油でみられたような激しいボイルオーバーは見られなかった。灯油の場合には燃焼終了間際に水がパチパチはねる潑水現象が見られたが、この時、周囲への放射熱はむしろ減少した、A重油では周囲への放射熱はやや増加して定常燃焼時の最大2倍程度にまで増加した。

従って、条件次第ではA重油でもボイルオーバーが起こる可能性が強い。

## 4. まとめ

本稿は石油タンクの火災の中で最も危険と思われるボイルオーバーについての実験を紹介したもので、Hallら<sup>3)</sup>の従来からの研究結果も併せて考えればボイルオーバーについては次のようなことが言える。

- 1) 水が存在するタンク内で原油やA重油の長時間の燃焼後に周囲への放射熱が増加する現象が見られたが、特に原油では燃料層が厚い時には燃料層の下部に存在する水の急激な沸騰により生じるボイルオーバーと呼ばれる現象となることがある。
- 2) ボイルオーバーが起こるまでの時間及びその激しさは燃料層の厚さと大きく関係する。これはホットゾーン降下速度がタンクの大きさに関係なくほぼ一定である<sup>1, 2)</sup>ためホットゾーン層厚さが経過時間にほぼ比例して大きくなるためと考えられる。

## 5. 参考文献

- 1) 長谷川和俊：災害の研究13巻 p. 233(1983)
- 2) 古積博：安全工学29巻(2) p. 95(1990)
- 3) H.Hall：Mechanical Engineering Vol. 47(7) p. 540(1925)

# 水溶性液体用泡のメタノール汚染

林 幸司・星野 誠

## 1. まえがき

泡を用いてタンク火災を消火する場合、燃焼油面への泡の供給方法は、表面泡注入法と液面下泡注入法に大別される。表面泡注入法には、(1)泡をタンク側板の内壁面に沿って流下させ、燃焼油面上に展開させる壁面泡流下方式（以下壁面流下方式と略）、(2)泡を泡放出口の対壁の内面に打ち当てて流下させ、燃焼油面上に展開させる壁面泡打ち当て流下方式（以下壁面打ち当て流下方式と略）及び(3)泡を燃焼油面に直接打ち当てて、燃焼油面上に展開させる油面泡打ち当て方式（以下油面打ち当て方式と略）の三つの方式がある。一方、液面下泡注入法には、(1)泡をタンク側板下部から直接燃料中に放出し、燃料中を浮上させて燃焼油面上に展開させる SUBSURFACE INJECTION（略して S S I）と(2)タンク側板下部に格納されたホースを泡の吐出圧力で展張させ、泡を燃焼油面にホースを介して送り、燃焼油面上に展開させる SEMI-SUBSURFACE INJECTION（略して S S S I）がある。これらの方式により燃焼油面上に供給された泡は、いずれも程度の違いはあっても、燃料により汚染<sup>\*</sup>されている。一般に、泡はある程度耐油性をもっている。しかし、燃料によって汚染された泡は、汚染されない泡に比べ消火性能が著しく低下する。例えば、燃料によって汚染された泡による消火時間は、汚染されない泡に比べ増大する。さらに燃料による汚染の割合が燃焼範囲内にある泡は、泡の中に含まれている燃料蒸気に着火し、泡自身が燃え出してくる。このような場合は、泡自身が燃えているのであるから火災を消火することはできない。

自治省令第26号（「泡消火薬剤の技術上の規格を定める省令」昭和50年12月）から適用除外されているアルコール類、ケトン類、有機酸類、アミン類、アルデヒド類、エステル類、エーテル類などのいわゆる水溶性液体燃料の火災に対しては、現在、水溶性液体用泡消火薬剤が使用されている。しかし、水溶性液体燃料火災に対し、水溶性液体用泡消火薬剤を用いても、燃

焼油面への泡の供給方法によっては、供給した泡が消滅してしまふ場合もある。例えば、S S Iでは水溶性液体用泡を直接燃料中に放出するため、泡が燃料により汚染される割合が非常に高くなると同時に、消滅してしまふ可能性もまた高い。そのためS S Iは、水溶性液体燃料の火災に対しては、採用されていない。

ところで、燃料による水溶性液体用泡の汚染に関する研究報告は、現在の所、見当たらない。そこで水溶性液体燃料と水溶性液体用泡の汚染の関係について調べた。ここでは、燃料液面への泡供給方法を前記の壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式、油面打ち当て方式とし、水溶性液体用泡を燃焼していない油面に供給した場合の泡の汚染について述べる。未燃焼時の実験とした理由は、燃焼している油面に泡を供給すると、側壁温度、燃料温度などの影響により燃料による泡の汚染度が変化する。その結果、燃料による泡の汚染のみを調べることは困難になるからである。

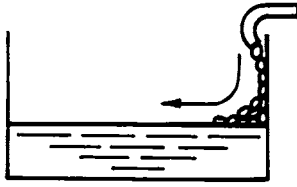
## 2. 実験方法と測定事項

図1に今回の実験で用いた壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式、油面打ち当て方式それぞれの燃料液面への泡供給方法を示す。

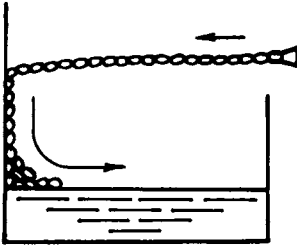
実験に用いた容器は、縦70.7cm、横70.7cm、高さ40cm（面積0.5㎡）の鋼板製で、容器の中には、燃料として工業用メタノール（JIS K 1501）を毎回50ℓ（燃料の厚み10cm）入れた。なお、燃料液面への泡の供給方法が壁面打ち当て流下方式の場合のみ、幅70cm、高さ50cmの鋼板を容器の側板上部に取り付けた。

泡ノズルは、イギリス軍規格泡ノズル（U.K. Defence Standard 42-21, 22, 24 / ISSUE 1-1976、以下U.K.泡ノズルと略）とU.K.泡ノズルのスケールを $1/\sqrt{2}$ とした試作品（以下小型U.K.泡ノズルと略）の2種類を使用した。これらの泡ノズルは、泡水溶液供給圧力7.0kgf/cm<sup>2</sup>の時、泡水溶液供給流量がU.K.泡ノズルの場合5.0ℓ/min、小型U.K.泡ノズルの場合2.5ℓ/minとなるように設計されている。泡の発生方法は、ノズル内で前後におかれた半円形のプレートに、泡水溶液の噴流をあてると同時に空気を吸い込ませる方式である。なお、泡ノズルの先端には各泡供給方式に応

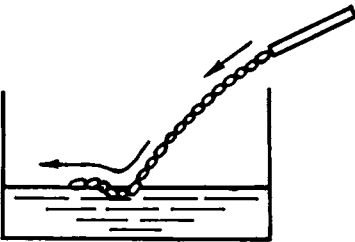
\*）泡の中に燃料やその蒸気を含むこと。



(1) 壁面流下方式



(2) 壁面打ち当て流下方式



(3) 油面打ち当て方式

図1 メタノール液面への泡供給方法

放出速度減少用にストレートパイプをそれぞれ取り付けた。

実験に用いた水溶性液体用泡消火薬剤は、ある種の多糖類やガムなどの水溶性高分子物質に、合成界面活性剤及びフッ素系界面活性剤を添加した高分子ゲル生成型泡消火薬剤（以下高分子ゲル生成型泡と略）と、牛馬のひづめや角などの蹄角粉（ケラチン）を水酸化カルシウム、あるいは水酸化ナトリウムなどを用いて加水分解したたんぱく質に、鉄（Ⅱ）及び水溶性液体用に開発されたフッ素系界面活性剤を添加したフッ素たんぱく型泡消火薬剤（以下フッ素たんぱく型泡と略）である。高分子ゲル生成型泡はAとB社製の2種類、またフッ素たんぱく型泡はCとD社製の2種類、計4種類を用いた。

泡放出口より放出された泡の諸性能のうち発泡倍率、泡水溶液還元時間\*）は、現行泡消火薬剤規格（前記自治省令第26号）により測定した。またせん断応力\*\*）は、イギリス軍規格（U.K. Defence Standard 42-3 / ISSUE 1-1969）により測定した。

容器に供給された泡層の厚み及び燃料の厚みの計測は、フロート式液面計（総合計装（株）製 TAF-1型）を用いて行った。また、泡層の厚みの計測時期は、泡供給停止直後、10分後、15分後の3回とした。

また、泡のメタノール液面被覆時間ならびに泡落下部被覆時間（油面打ち当て方式の場合のみ）は、ストップウォッチにより測定した。

図2に泡水溶液の送液図を示す。泡水溶液の貯蔵源となるステンレス製耐圧タンクには、プレミックス方

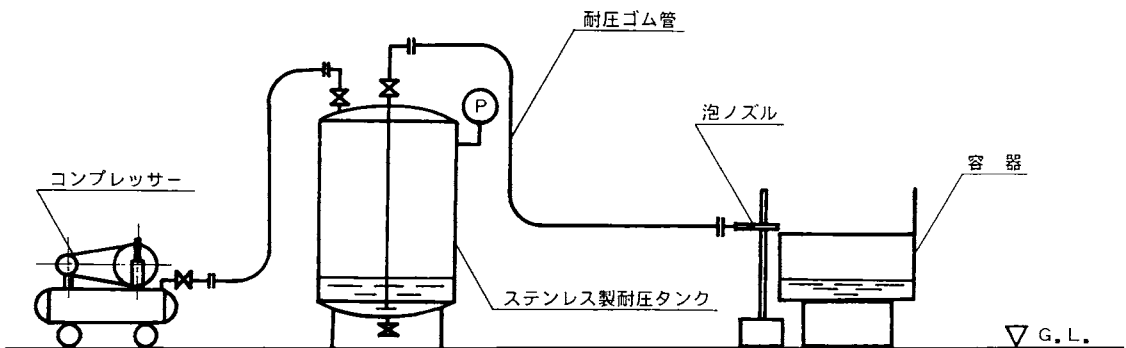


図2 泡水溶液送液図

じ、壁面流下方式の時は泡が壁面を流下しやすくするためにグーズネック（□型泡放出口）を、また壁面打ち当て流下方式の時は泡をできるだけ集中させるためにノズルチップを、さらに油面打ち当て方式の時は泡

\*）発泡に使用した泡水溶液が、発泡した泡から分離して元の泡水溶液に戻るまでの時間。

\*\*）せん断によって生ずる応力（後述3.6節）。

式で調製した6 vol%の泡水溶液を容量で最大1/6程度入れ、上部の空間を圧縮空気にて7.0±0.1kgf/cm<sup>2</sup>に加圧した。泡水溶液は、耐圧タンクより途中内径10mmの耐圧ゴム管を經由して泡ノズルへと圧送され、ここで発泡される。泡水溶液の供給率は、U.K.泡ノズルの場合10.0ℓ/min・m<sup>2</sup>、小型U.K.泡ノズルの場合5.0ℓ/min・m<sup>2</sup>であった。メタノール液面への泡供給時間は、メタノール液面全体が泡で覆われた時間プラス1分間とした。泡供給停止後、泡層の6ヶ所からメタノール汚染度測定用泡を注射筒を用いて、約50cc速やかに採取した。図3に泡採取位置を示す。なおこの方法は、損害保険料率算定会泡消火設備規則(昭和44年11月)、消火泡発泡剤試験規定の空気泡発泡剤耐液性試験方法の泡採取方法に準じている。

採取した泡は、放置後完全に元の泡水溶液になった時点で、ガスクロマトグラフ((株)島津製作所製GC-7A型)にかけ、メタノール濃度(汚染度)を測定した。泡のメタノール汚染度は、通常メタノールのピックアップ量(泡のメタノール吸い上げ量)で表現され、次式より求めることができる。

$$P_M = \{V_m / (V_f + V_m)\} \times 100$$

ここで、P<sub>M</sub>は容量パーセント単位で表わしたメタノール汚染度、V<sub>m</sub>とV<sub>f</sub>はそれぞれ容量単位で表わした泡中のメタノール量、及び泡中の泡水溶液量である。

なお、実験の正確さを期するため、同様の実験を2〜3回繰り返した。

### 3. 実験結果と考察

メタノール液面への泡の供給方法を壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式及び油面打ち当て方式の三つの方式とした場合の各泡消火剤の泡諸性能、泡落下部被覆時間、メタノール液面被覆時間、泡厚などの実験値(平均値)を表1〜3に示す。また、各泡消火剤の各泡供給方式における泡採取位置と泡のメタノール汚染度(平均値)の関係を表4〜6及び図4〜7に示す。なお実験結果から高分子ゲル生成型泡のAとB、フッ素たんぱく型泡のCとDは、泡のメタノール汚染度に関し、各泡供給方式ともそれぞれの泡採取位置において同じような値を示したので、以下泡の種類は高分子ゲル生成型泡及びフッ素たんぱく型泡に大別する。

#### 3.1 容器に供給された泡の流動状況

前記三方式により容器に供給された泡の流動状況は、壁面流下方式については、泡放出口より放出されたすべての泡は、側板内壁面に付着し、そのまま側板内壁面に沿って流下しメタノール液面に達する。メタノール液面に達した泡は、水面上に浮かぶボートのようにその一部分がメタノール中に沈み、メタノールを押しよけて進むようにメタノール液面上に拡がっていく。また壁面打ち当て流下方式については、泡放出口より放出され反対側側板の内壁面に打ち当てられたほとんどの泡(一部は飛散する)は、壁面に付着し壁面に沿って流下しメタノール液面に達する。メタノール液面に達した泡は、壁面流下方式と同様にメタノール液面上に拡がっていく。さらに油面打ち当て方式については、泡放出口よりメタノール液面に直接放出されたすべての泡は、その一部又は全部が一度メタノール中にもぐってから浮上し、その後は壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式と同様にメタノール液面上に拡がっていく。

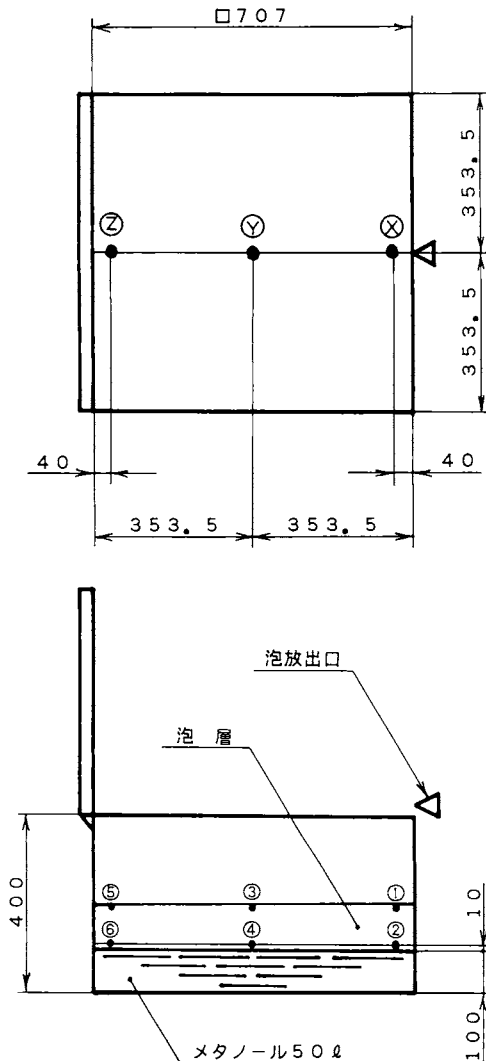


図3 メタノール汚染度測定用泡採取位置

表1 各泡消火薬剤の壁面流下方式における泡諸性能、メタノール液面被覆時間、泡厚

泡消火薬剤	泡水溶液供給率 ( $l/mm \cdot \text{min}$ )	泡諸性能		メタノール液面被覆時間 ( $\text{min} \cdot \text{sec}$ )	泡厚																
		25%還元時間 ( $\text{min} \cdot \text{sec}$ )	せん断応力 ( $N/cm^2$ )		泡温度		泡採取位置⑧			泡採取位置⑨			泡採取位置⑩			全 面 平 均					
					発泡倍率	泡供給前 ( $^{\circ}C$ )	泡供給停止15分後 ( $^{\circ}C$ )	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後	泡供給停止後			
高分子ゲル生成型泡A	5.0	9.0	5.6	19.8	22.9	20.8	24.0	0' 34"	5.4	5.1	4.9	5.5	5.3	5.3	5.8	5.3	5.3	5.4	5.4	5.1	5.1
" B	"	8.7	4.2	19.0	23.4	20.1	21.2	0' 44"	4.9	4.9	4.7	5.4	4.9	4.9	5.8	5.3	4.8	5.2	5.2	4.7	4.6
フッ素たんぱく型泡C	"	8.4	24.7	19.8	25.3	20.6	22.7	2' 14"	7.0	6.5	6.5	4.7	4.0	4.1	3.3	3.3	4.1	4.1	3.6	3.4	3.4
" D	"	8.1	42.7	19.3	23.5	21.3	22.0	1' 30"	15.4	15.4	15.4	7.5	7.5	6.8	6.8	6.5	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4
高分子ゲル生成型泡A	10.0	8.7	5.5	23.3	25.5	22.4	27.2	0' 19"	10.9	10.4	10.4	10.8	10.6	10.9	10.4	10.4	10.5	10.5	10.2	10.2	10.2
" B	"	8.7	4.0	20.8	25.1	21.6	23.2	0' 21"	9.8	9.8	9.5	10.2	9.9	11.2	10.5	10.5	10.4	10.4	10.0	9.6	9.6
フッ素たんぱく型泡C	"	9.0	24.4	20.6	26.1	21.5	24.0	0' 55"	13.1	12.9	12.4	9.1	8.1	9.2	8.7	8.7	9.3	9.3	8.9	8.7	8.7
" D	"	8.1	40.6	22.1	26.7	22.3	25.3	0' 46"	17.9	17.4	17.4	10.9	10.9	10.0	10.0	10.0	10.8	10.8	10.6	10.5	10.5

表2 各泡消火薬剤の壁面打ち当て流下方式における泡諸性能、メタノール液面被覆時間、泡厚

泡消火薬剤	泡水溶液供給率 (ℓ/min・㎡)	泡諸性能			泡水溶液温度 (℃)	室温度 (℃)	メタノール液面被覆時間 (min・sec)	泡厚																
		発泡倍率	25%還元時間 (min・sec)	せん断応力 (N/㎡)				泡温度		泡採取位置⑧			泡採取位置⑨			泡採取位置⑩			全面平均					
								泡供給前 (℃)	泡供給停止15分後 (℃)	泡供給停止後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後	泡供給後		
高分子ゲル生成型泡A	5.0	8.8	22' 36"	5.7	21.9	25.2	22.5	24.4	0' 44"	7.0	6.8	6.8	6.9	6.4	6.2	6.6	6.1	6.1	6.7	6.4	6.3	6.3	6.4	6.3
" B	"	9.0	11' 27"	4.4	23.3	27.5	24.5	25.8	1' 13"	8.3	7.3	6.8	7.1	6.4	6.4	6.6	6.6	6.6	7.6	6.8	6.5	6.5	6.8	6.5
フッ素たんばく型泡C	"	8.2	8' 43"	24.9	22.7	27.0	23.1	24.2	1' 14"	3.1	3.1	3.1	4.3	3.3	3.0	6.3	6.0	5.5	3.6	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1
" D	"	8.1	11' 17"	45.0	23.1	25.7	23.5	27.4	1' 23"	6.5	6.5	6.2	8.1	8.1	8.1	13.4	12.9	12.4	7.8	7.6	7.4	7.4	7.6	7.4
高分子ゲル生成型泡A	10.0	9.5	19' 06"	5.4	25.0	29.1	25.1	28.2	0' 21"	12.1	11.9	11.9	11.9	11.9	11.2	12.0	11.5	11.5	12.0	11.6	11.5	11.5	11.6	11.5
" B	"	9.6	10' 51"	4.4	23.4	28.7	24.5	26.1	0' 25"	11.9	11.4	10.9	11.4	10.6	10.4	11.2	10.7	10.5	11.6	11.1	10.6	10.6	11.1	10.6
フッ素たんばく型泡C	"	9.1	9' 47"	25.6	21.8	26.0	22.4	21.7	0' 41"	9.6	9.4	9.4	10.0	9.5	9.2	12.1	11.6	11.1	10.0	9.7	9.4	9.4	9.7	9.4
" D	"	8.1	11' 18"	38.8	22.2	25.5	22.2	23.6	0' 53"	11.6	11.6	11.6	13.0	13.0	13.0	18.8	18.5	18.3	12.6	12.5	12.4	12.4	12.5	12.4

表3 各泡消火薬剤の油面打ち当て方式における泡諸性能、泡落下部被覆時間、メタノール液面被覆時間、泡厚

泡消火薬剤	泡水溶液供給率 ( $l/mm \cdot \text{min}$ )	泡諸性能		メタノール温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	泡水溶液温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	室温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	泡落下部被覆時間 ( $\text{min} \cdot \text{sec}$ )	メタノール液面被覆時間 ( $\text{min} \cdot \text{sec}$ )	泡厚														
		発泡率	25%還元時間 ( $\text{min} \cdot \text{sec}$ )						せん断力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )	メタノール温度		泡採取位置①				泡採取位置②				全 面 平 均			
										泡供給前 ( $^{\circ}\text{C}$ )	泡供給停止15分後 ( $^{\circ}\text{C}$ )	泡直給 ( $\text{cm}$ )	泡直給後 ( $\text{cm}$ )	泡供給停止 ( $\text{cm}$ )	泡供給後 ( $\text{cm}$ )	泡供給停止 ( $\text{cm}$ )	泡供給後 ( $\text{cm}$ )	泡供給停止 ( $\text{cm}$ )	泡供給後 ( $\text{cm}$ )	泡供給停止 ( $\text{cm}$ )	泡供給後 ( $\text{cm}$ )		
高分子ゲル生成型泡A	5.0	8.5	25' 38"	5.4	19.4	23.2	20.2	20.3	0' 23"	0' 53"	5.6	5.6	5.2	6.0	5.3	5.1	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.1	
" B	"	8.2	15' 52"	4.1	18.7	24.8	20.0	18.8	1' 40"	2' 21"	8.6	8.3	8.0	7.9	6.9	6.9	9.3	8.4	8.1	9.2	8.6	8.3	
フッ素たんばく型泡C	"	8.1	8' 59"	24.5	18.6	26.6	19.4	18.7	6' 51"	7' 00"	4.3	4.3	4.3	6.0	6.0	6.0	4.5	4.3	4.3	4.6	4.6	4.5	
" D	"	7.9	11' 31"	42.2	19.4	26.4	19.6	20.6	5' 24"	5' 54"	5.9	5.9	5.9	9.3	9.1	9.1	4.6	4.4	4.4	5.6	5.4	5.3	
高分子ゲル生成型泡A	10.0	9.0	29' 12"	6.2	17.6	21.7	18.9	17.1	0' 24"	0' 27"	10.2	10.2	10.0	9.8	9.3	9.3	10.4	10.2	9.9	10.5	10.4	10.4	
" B	"	8.6	13' 31"	3.9	18.7	25.6	19.7	21.1	1' 07"	1' 07"	10.2	9.9	9.7	9.4	8.4	7.9	9.9	9.1	9.1	10.6	10.1	9.7	
フッ素たんばく型泡C	"	9.0	9' 22"	25.3	20.3	28.2	19.8	23.1	3' 28"	3' 28"	10.2	9.9	9.9	11.2	11.0	11.0	10.1	10.1	10.1	9.9	9.7	9.7	
" D	"	8.6	11' 06"	38.8	19.1	26.8	20.4	21.0	2' 28"	2' 28"	8.6	8.4	8.1	11.3	11.3	11.3	7.4	7.4	7.4	8.2	8.0	7.9	



表4 各泡消火薬剤の壁面流下方式におけるメタノール汚染度の平均値（単位vol%）

泡消火薬剤	泡水溶液供給率	泡採取位置					
		㊸		㊹		㊺	
		①	②	③	④	⑤	⑥
高分子ゲル生成型泡A	5.0 l/min・m <sup>2</sup>	0	0.1	0	0.1	0.9	1.5
	10.0 "	0	0.2	0	0	0.1	2.3
" B	5.0 "	0	0.1	0	0	0.3	0.3
	10.0 "	0	0.2	0	0.1	0	0.5
フッ素たんぱく型泡C	5.0 "	0	5.8	0	8.7	2.8	12.6
	10.0 "	0	6.5	0	0.1	0.1	6.9
" D	5.0 "	0	10.8	0	9.5	0.8	17.4
	10.0 "	0	9.0	0	1.5	0.2	19.0

表5 各泡消火薬剤の壁面打ち当て流下方式におけるメタノール汚染度の平均値（単位vol%）

泡消火薬剤	泡水溶液供給率	泡採取位置					
		㊸		㊹		㊺	
		①	②	③	④	⑤	⑥
高分子ゲル生成型泡A	5.0 l/min・m <sup>2</sup>	0.3	0.7	0	0.1	0	0
	10.0 "	0.1	0.9	0	0	0	0
" B	5.0 "	0.2	0.1	0	0	0	0
	10.0 "	0.2	0.1	0	0	0	0
フッ素たんぱく型泡C	5.0 "	1.0	13.0	0	9.2	0	1.8
	10.0 "	0	3.9	0	1.4	0	0.3
" D	5.0 "	3.9	22.4	0	11.1	0	0.9
	10.0 "	0.3	1.3	0	3.8	0	1.0

表6 各泡消火薬剤の油面打ち当て方式におけるメタノール汚染度の平均値 (単位vol%)

泡消火薬剤	泡水溶液供給率	泡採取位置					
		㊸		㊹		㊺	
		①	②	③	④	⑤	⑥
高分子ゲル生成型泡A	5.0 ℓ/min・㎡	9.7	18.1	0	0.5	14.7	29.6
	10.0 "	11.3	26.8	0	0	4.1	30.8
" B	5.0 "	19.8	23.1	0.1	0.3	25.5	24.1
	10.0 "	20.0	30.7	0.9	8.5	9.1	24.9
フッ素たんぱく型泡C	5.0 "	7.3	8.0	0	2.9	10.0	23.9
	10.0 "	2.2	12.8	0	2.2	9.9	15.5
" D	5.0 "	0.1	5.4	0	4.7	11.8	32.9
	10.0 "	0.1	4.6	0	2.8	5.6	21.0

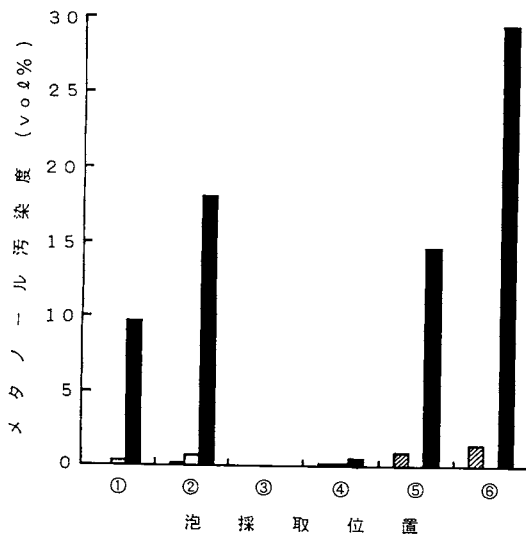


図4 各泡供給方式における泡採取位置と高分子ゲル生成型泡Aのメタノール汚染度の関係

▨ 壁面流下方式  
 □ 壁面打ち当て流下方式  
 ■ 油面打ち当て方式

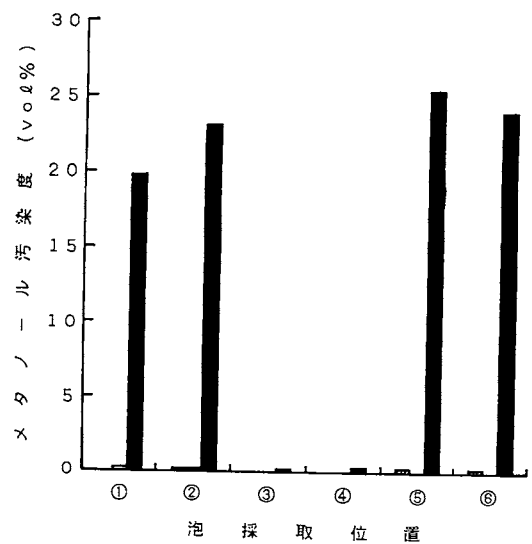


図5 各泡供給方式における泡採取位置と高分子ゲル生成型泡Bのメタノール汚染度の関係

▨ 壁面流下方式  
 □ 壁面打ち当て流下方式  
 ■ 油面打ち当て方式

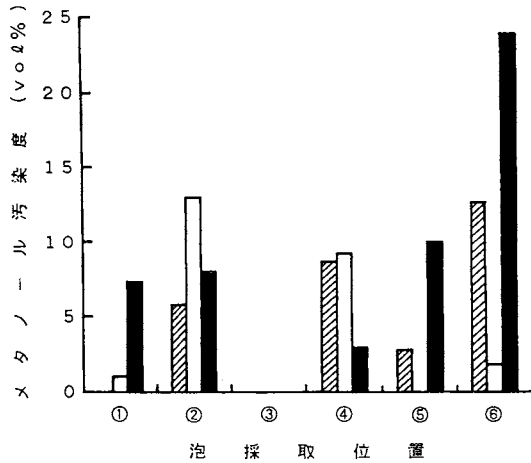


図6 各泡供給方式における泡採取位置とフッ素たんばく型泡Cのメタノール汚染度の関係

▨壁面流下方式  
□壁面打ち当て流下方式  
■油面打ち当て方式

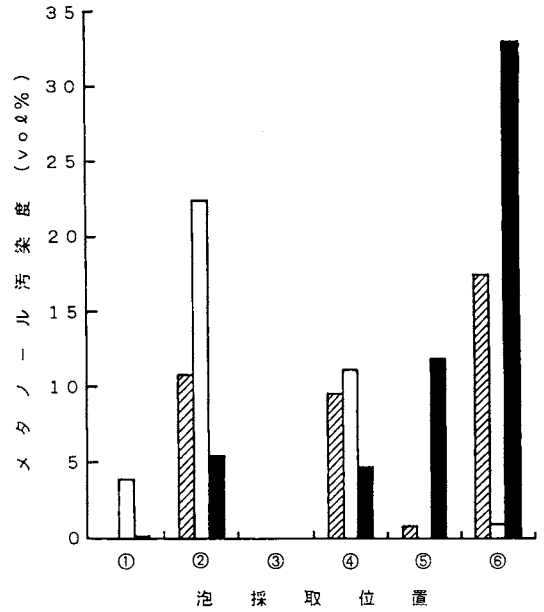


図7 各泡供給方式における泡採取位置とフッ素たんばく型泡Dのメタノール汚染度の関係

▨壁面流下方式  
□壁面打ち当て流下方式  
■油面打ち当て方式

### 3.2 壁面流下方式における泡のメタノール汚染度

表4に各泡消火薬剤の壁面流下方式における泡採取位置と泡のメタノール汚染度の関係を示す。表4によれば、泡水溶液供給率に関係なく、高分子ゲル生成型泡に比べフッ素たんばく型泡の方がメタノール汚染度が高い。また高分子ゲル生成型泡、フッ素たんばく型泡とも泡層表面に比べメタノール液面近くの泡層の方がメタノール汚染度が高い。

### 3.3 壁面打ち当て流下方式における泡のメタノール汚染度

表5に各泡消火薬剤の壁面打ち当て流下方式における泡採取位置と泡のメタノール汚染度の関係を示す。表5によれば、壁面打ち当て流下方式における高分子ゲル生成型泡とフッ素たんばく型泡のメタノール汚染度は、壁面流下方式におけるそれとはほぼ同じ傾向であった。

### 3.4 油面打ち当て方式における泡のメタノール汚染度

表6に各泡消火薬剤の油面打ち当て方式における泡採取位置と泡のメタノール汚染度の関係を示す。表6によれば、油面打ち当て方式における泡のメタノール汚染度は、壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式にお

けるそれとは異なった結果を示した。すなわち、泡水溶液供給率に関係なく、泡のメタノール汚染度はフッ素たんばく型泡に比べ高分子ゲル生成型泡の方が高くなった。また泡層表面とメタノール液面近くの泡層のメタノール汚染度は、壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式と同じ傾向にあり、高分子ゲル生成型泡、フッ素たんばく型泡とも泡層表面に比べメタノール液面近くの泡層の方がメタノール汚染度が高い。しかし、その汚染度は壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式に比べ著しく増加している。これは、燃料液面に供給された泡の一部又は全部が、メタノールの中にもぐってしまうためによるものと思われる。

### 3.5 各泡供給方式における泡のメタノール汚染度の比較

図4～7に泡水溶液供給率5.0 l/min・㎡の場合の壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式、油面打ち当て方式の三つの方式における泡採取位置と泡のメタノール汚染度の関係を示す。図4～7によると、油面打ち当て方式に比べ、泡がメタノール液面に突入する速度が遅い壁面流下方式と壁面打ち当て流下方式の場合、高分子ゲル生成型泡のメタノール汚染度は、フッ素たんばく型泡のそれに比べ低かった。これは、高分子ゲ

ル生成型泡はメタノールに接触すると水溶性の高分子ゲル層を形成し、同時にフッ素系界面活性剤の分子膜がメタノール液面上に出来る。つまり、上部に高分子ゲル層、下部にフッ素系界面活性剤の分子膜の二重泡層となり、泡のメタノール汚染を防止するためであると考えられる。しかし、メタノール液面に泡が直接落下し、しかもその泡がメタノールの中にもぐってしまうような油面打ち当て方式の場合は、高分子ゲル生成型泡は、前記の二重泡層形成によるメタノール汚染防止作用がなくなるものと思われ、フッ素たんぱく型泡に比べメタノール汚染度が高くなった。また各泡供給方式とも、高分子ゲル生成型泡、フッ素たんぱく型泡の大部分は、泡層表面に比べメタノール液面近くの泡層の方がメタノール汚染度が高い。さらに各泡供給方式とも、図3に示すメタノール液面への泡の供給位置に近い泡層表面のメタノール汚染度（壁面流下方式の場合①、壁面打ち当て流下方式の場合⑤、油面打ち当て方式の場合③）は、他の位置のそれに比べ低かった。この原因は、これらの位置には、メタノールに汚染されていない泡が常に供給されていたためと思われる。

一方、泡水溶液供給率の変化にともない泡のメタノール汚染度がどのように変化したか調べると、高分子ゲル生成型泡は、泡供給方法により相違がみられたが、大部分は泡水溶液供給率が変化しても泡のメタノール汚染度はあまり変化しなかった。しかし、フッ素たんぱく型泡は、各泡供給方式とも大部分は泡水溶液供給率 $5.0 \text{ l/min} \cdot \text{ml}$ の方が泡水溶液供給率 $10.0 \text{ l/min} \cdot \text{ml}$ に比べ泡のメタノール汚染度が高かった。この原因としては、フッ素たんぱく型泡は消火用水によって燃料がある程度希釈されないと、泡が燃料液面上に展開しない特徴があるため、泡水溶液供給率が低いと、泡層の形成は遅くなり、その結果泡のメタノール汚染度が高くなったものと考えられる。

また、各泡消火剤の壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式における泡のメタノール汚染度の最高値を示した泡採取位置は、高分子ゲル生成型泡、フッ素たんぱく型泡とも泡水溶液供給率に関係なく大部分が、壁面流下方式の場合、図3に示す⑥の泡採取位置で、また壁面打ち当て流下方式の場合、図3で示す②の泡採取位置であった。これらの位置は、いずれもメタノール液面への泡の供給位置から最も遠く、しかもメタノール液面に近い泡採取位置である。このことはメタノール液面上を泡が流動展開する場合は、流動する距離が長い程、泡はメタノールに汚染されやすいということを意味しているものと思われる。また、各泡消火剤の油面打ち当て方式における泡のメタノール汚染

度の最高値を示した泡採取位置は、高分子ゲル生成型泡、フッ素たんぱく型泡とも泡水溶液供給率に関係なく、大部分が図3の⑥の泡採取位置であった。これはメタノール液面に泡を直接落下させたために、泡供給時の初期には、泡の一部または全部が一度メタノールの中にもぐってから浮上してメタノール液面上を流動展開するようになった。この結果、泡採取位置の⑥近くに最初に到達したメタノール汚染度の高い泡が、そのまま残ってしまったため⑥の泡採取位置のメタノール汚染度が最も高くなったものと思われる。

次にメタノール水溶液におけるメタノール濃度と引火温度の関係から、引火する最低メタノール濃度は $2.9 \text{ vol} \%$ で、その時の引火温度は $62.0^\circ\text{C}$ であった<sup>1)</sup>。このことは、今回の泡のメタノール汚染度のうち、メタノール濃度が $2.9 \text{ vol} \%$ 以上になった値のところは引火する危険があるということであり、高分子ゲル生成型泡、フッ素たんぱく型泡とも、油面打ち当て方式がその危険性が非常に高く、次に壁面流下方式であり、壁面打ち当て流下方式が引火する危険性がいちばん低いと言える。

以上、高分子ゲル生成型泡、フッ素たんぱく型泡について、泡の供給方法とメタノールによる泡の汚染度との関係を調べた結果、汚染度が最も高かったのは油面打ち当て方式で、続いて壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式の順に低くなった。

### 3.6 泡のせん断応力

泡のせん断応力は、フッ素たんぱく型泡は高分子ゲル生成型泡に比べ著しく値が高い。一般に泡のせん断応力は泡の流動性を表す指標となっている<sup>2)</sup>。したがってフッ素たんぱく型泡は高分子ゲル生成型泡に比べ流動性が悪いことを意味している。このことは、表1～3の泡厚からもわかるように、高分子ゲル生成型泡に比べフッ素たんぱく型泡は、図3に示す各泡供給位置近くの泡厚（壁面流下方式の場合⑧、壁面打ち当て流下方式の場合②、油面打ち当て方式の場合⑨）が他の位置の泡厚に比べ厚くなっている。

### 3.7 メタノール温度

メタノール温度については、実験を通じて泡供給後上昇している。これは供給した泡から還元した泡水溶液とメタノールとの溶解熱によるものと思われる。

### 3.8 泡の耐メタノール性

油面打ち当て方式の場合、高分子ゲル生成型泡は泡供給開始と同時の泡がメタノール液面上に展開していくのに対し、フッ素たんぱく型泡は泡供給開始後最短で2分間、最長で5分間は泡がメタノール液面上に展開せずに消滅してしまう現象がみられた。そこで壁面

流下方式、壁面打ち当て流下方式、油面打ち当て方式 した全泡量に対する泡供給停止時にメタノール液面上に  
の各泡供給方式において、メタノール液面に供給され 残った泡量の割合を調べた。その結果を表7に示す。

表7 各泡供給方式におけるメタノール液面に供給された全泡量に対する  
泡供給停止時にメタノール液面上に残った泡量の割合（単位%）

泡 消 火 薬 剤	泡 水 溶 液 供 給 率	泡 供 給 方 法		
		壁 面 流 下 方 式	壁 面 打 ち 当 て 流 下 方 式	油 面 打 ち 当 て 方 式
高分子ゲル生成型泡A	5.0 ℓ / min · m <sup>2</sup>	76.3	88.9	78.7
	10.0 "	92.0	93.7	80.4
" B	5.0 "	69.7	77.1	67.9
	10.0 "	88.3	85.6	57.8
フッ素たんぱく型泡C	5.0 "	31.5	40.0	14.4
	10.0 "	55.6	65.4	24.6
" D	5.0 "	74.3	81.3	20.4
	10.0 "	75.0	82.7	27.6

なお泡量は泡水溶液供給量（率）、泡供給時間、発泡倍率、泡供給停止直後の全面平均泡厚から求めた。表7によると三つの方式におけるメタノール液面に供給された全泡量に対する泡供給停止時にメタノール液面上に残った泡量の割合は、泡水溶液供給率に関係なく、ほぼ各泡消火薬剤とも油面打ち当て方式、壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式の順に高くなった。このことは、メタノール液面に供給された全泡量に対し、消滅した泡量の割合が、油面打ち当て方式、壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式の順に低くなることを示している。この順序は前記3.5節における泡供給方法とメタノールによる泡の汚染度の順序と一致しており、泡供給方法の違いによる泡のメタノール汚染度と泡の耐メタノール性との間には相関関係がみられた。また各泡供給方式とも、メタノール液面に供給された全泡量に対する泡供給停止時にメタノール液面上に残った泡量の割合は、泡水溶液供給率に関係なく、フッ素たんぱく型泡に比べ高分子ゲル生成型泡が高くなっていた。このことから、高分子ゲル生成型泡に比べフッ素たんぱく型泡は、メタノールに対する耐油性が劣るも

のと思われる。

#### 4. 結論

今まで述べてきたことを要約すると次のようになる。

- 1) 壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式における泡のメタノール汚染度は、高分子ゲル生成型泡に比べフッ素たんぱく型泡が高く、油面打ち当て方式におけるそれは、フッ素たんぱく型泡に比べ高分子ゲル生成型泡が高かった。また各泡供給方式とも高分子ゲル生成型泡、フッ素たんぱく型泡に属する泡の大部分は、泡層表面に比べメタノール液面近くの泡層がメタノール汚染度が高かった。
- 2) 壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式において、メタノール液面上を泡が流動展開する場合、流動する距離が長くなる程、泡はメタノールに汚染されやすい。
- 3) 泡供給方法とメタノールによる泡の汚染との関係は、泡の種類にかかわらず、油面打ち当て方式、壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式の順に汚染度は低くなった。

4) メタノール液面に供給された全泡量に対する消滅した泡量の割合は、泡水溶液供給率、泡の種類にかかわらず、油面打ち当て方式、壁面流下方式、壁面打ち当て流下方式の順に低くなった。この順序は、前記3)の泡の供給方法とメタノールによる泡の汚染度の関係の順序と一致しており、両者の間には相関性がみられた。また、高分子ゲル生成型泡に比べフッ素たんぱく型泡は、メタノールに対する耐油性が劣っていた。

#### 引用文献

- 1) 星野誠・林幸司：水溶性液体火災に対する各種泡消火剤の消火能力の評価、消防研究所報告、48、1、(1979)
- 2) J. G. Corrie : MEASURING THE SHEAR STRESS OF FIRE-FIGHTING FOAMS, Fire Research Note, 1055, 1, (1976)

## 救急車必要台数算定のための確率論的試み

寒河江幸平

### 1. はじめに

我が国では、各消防本部等の消防機関が所有すべき救急車台数は、おおむね人口の多寡に応じて規定されている<sup>1)</sup>。すなわち、所有すべき救急車台数は人口という唯一のパラメータで定められていることになる。その規定の根本には、救急車出場件数は人口に比例するであろうという想定があると思われる。しかし、救急車出場件数は、府県単位ではおおむね人口に比例するが、府県ごとの比例係数は同一であるとはいえなかった<sup>2)</sup>。また、人口がほぼ同じでも、担当面積が異なれば、現場までの所要時間または現場から病院までの所要時間等に差がでるであろう。

救急車の必要台数については、人口だけでなく、担当区域の広さや出場実態に応じた見直しが望ましい旨提言されている<sup>3)</sup>。そこで、筆者は、Rand 研究所の Kolesar 等の消防自動車の駆け付け距離に関する平方根法<sup>4)</sup>を利用して、人口に担当面積を加味した救急車必要台数の算定方法を考案した<sup>5)・6)</sup>。平方根法とは、消防署所から現場までの距離の平均が、署所の配置密度の平方根の逆数に比例するという法則のことである。しかし、その方法は担当区域内の人口等の分布の一樣性を仮定しなければならない。現実的に、担当区域の人口の分布は一樣ではなく、上の発表は一種の極限状態について論じたもので、ただちに利用は出来ないが、救急車必要台数算定のための一つの試みとして考察したものである。

ここでは救急車の出場実態のうち、一日の出場件数と出場一件当たりの稼働時間を用いて、確率論的に台数を算定する方法について述べる。一つは、対象地域全体での一日の救急車の稼働時間の大小より算定する方法であり、もう一つは一日の出場件数の分布と出場一件当たりの稼働時間の分布から得られる稼働時間中に出場要請される確率より算定する方法である。ここで、稼働時間とは出場から病院収容までの所要時間である。

### 2. 平均稼働時間から算定する方法

救急車台数を算定しようとする対象地域全体での一

日当たりの平均出場件数を  $\lambda$  とし、出場一件当たりの平均稼働時間を  $\mu$  とすると、対象地域全体での全救急車の日当たりの平均稼働時間  $a$  は次の式(1)で表される。

$$a = \lambda \mu \quad \dots(1)$$

いま、救急車の台数を  $n$  とすると、救急車一台当たり一日の平均稼働時間  $p$  は次の式(2)になる。

$$p = a / n \quad \dots(2)$$

ここで、 $a$  は式(1)の平均稼働時間である。

式(1)は対象地域全体での、式(2)は救急車一台当たりでの忙しさを表わす。

昭和61年度の全国の覚知から病院収容までの所要時間の分布<sup>7)</sup>を参考にして、平均稼働時間を23分とし、一日あたりの平均出場件数を、船橋市、市川市及び金沢市の三消防本部のデータを用いて、約30件、25件及び16件として、救急車台数  $n$  を変化させたときの式(2)の  $p$  の値を図1に示した。上記の三消防本部の所有救急車台数はそれぞれ、10台、9台、7台である。式(2)の  $p$  の値を比較すると、一日の平均出場件数30件の消防本部は台数10で、一台、一日当たりの平均稼働時間  $p$  の値は約1時間6分、25件の消防本部は9台で約1時間1分、16件の消防本部は7台で約50分であり、一日の出場件数16件の消防本部が三消防本部の中で、最も平均稼働時間が小さい。その消防本部なみの平均稼働時間を他の二消防本部に要求すると、それぞれ出場件数30件の消防本部は13台、25件の消防本部は11台必要となる。式(1)、(2)において、数値の大きい方が救急活動は忙しい。

### 3. 一日当たりの出場件数の分布と出場一件当たりの稼働時間の分布による方法

一日当たりの出場件数の分布は一日当たりの平均出場件数をパラメータとするポアソン分布と考えてよい。救急車の出場要請は、前の、または次の救急車出場要請とはほとんど無関係に発生すると考えられる。確率論的に、ある事象が以前のその事象発生と無関係に発生するとき、その事象の発生の時間間隔の分布は指数分布になる。事象の発生の時間間隔の分布が指数分布になるとき、ある単位時間に事象の発生する回数の方



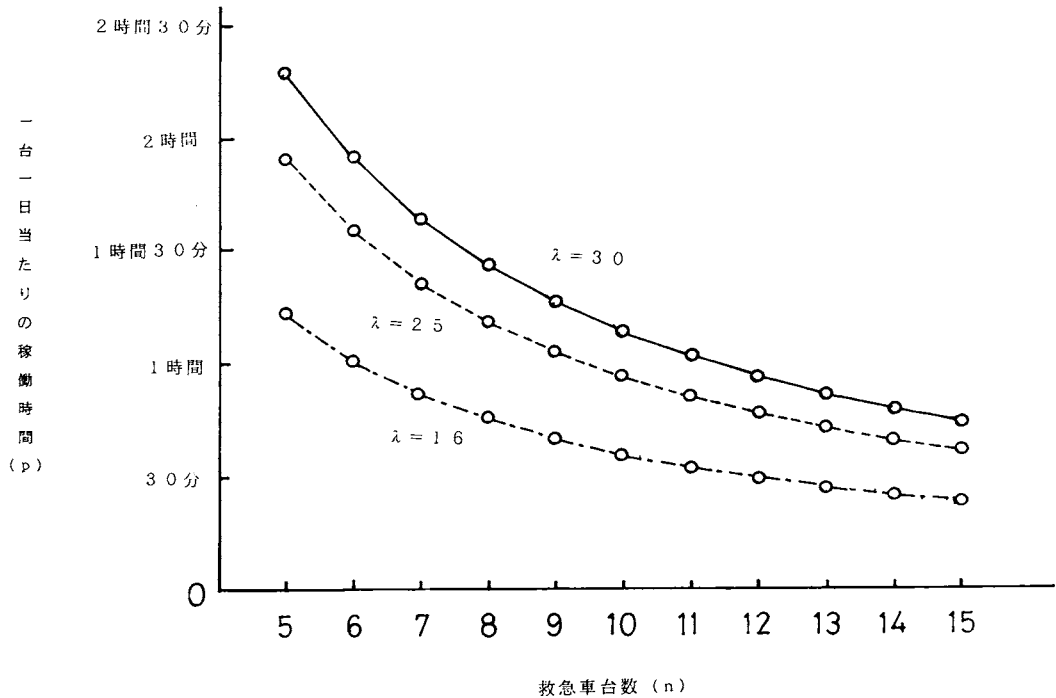


図1 救急車台数を変化させたときの一台当たりの稼働時間

布はポアソン分布になる。ここで、発生する事象を救急車の出場要請とし、単位時間を一日とすると、一日当たりの救急車の出場件数の分布はポアソン分布になるとしてよい。また、筆者は川崎市等の救急活動の分析の中で、救急車の一日当たりの出場件数がポアソン分布になることを確かめた。<sup>8), 9), 10)</sup>

そこで、一日当たりの救急車の平均出場件数をλとし、出場一件当たりの稼働時間tの分布をf(t)としたとき、一日にm件出場し、稼働時間中にk件出場要請される確率q<sub>m</sub><sup>k</sup>は以下の式(3)のようになる。

$$q_m^k = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda} \int_0^{\infty} \frac{(m t)^k}{k!} e^{-m t} f(t) dt \dots (3)$$

ここでは、tは一日を単位とする時間を表す。因みに、式(3)において積分記号の前の式は、平均出場件数がλのとき、一日にm件出場する確率であり、積分記号以降は、一日にm件出場したとき、稼働時間t中に、k件出場要請される確率である。

上記の式(3)において、mについて総和をとると、対象地域全体での一台の救急車の稼働時間中に要請される出場件数kの発生確率が得られる。数学的には、n台の救急車を所有しているとすれば、一台稼働中とするとき、n-1のときまで対応することができる。しかし、対象地域が広い場合は、出場要請現

場まで非常に遠い救急車が出場することがあり、出場が不可能になる場合が生ずる。

そこで、平均的な論法であるが、n台の救急車を有するとき、対象地域全体での一日の平均出場件数をλとすれば、救急車一台当たりの一日の平均出場件数はλ/nになる。式(3)のλのかわりに、λ/nを代入すれば、n台の救急車を有するとき、他の救急車の動向に関係なく、任意の救急車一台の稼働時間中に要請される出場件数kの確率を得る。

式(3)でλをλ/nと置き換えて得られる確率のうち、k=0となる以外の総和を求めると、稼働時間中に1件以上の出場を要請される確率を得る。その確率qは以下の式(4)になる。

$$q = 1 - e^{-\frac{\lambda}{n}} \int_0^{\infty} e^{\frac{\lambda}{n} t} f(t) dt \dots (4)$$

ここで、λ、f(t)は式(3)に同じ。nは救急車台数である。式(4)の確率qは、救急車の忙しさを表わす一つの指標と考えられる。なぜなら、式(4)のqは、今救急車が稼働中なら、出場要請に直ちに対応できない確率を与えると考えられるからである。

図2に前節の図1と同様に、一日当たりの平均出場件数λを、30、25、16とし、救急車台数nを変化させたときの式(4)の稼働時間中に出場が要請される確率qの値を示した。図2を見ると、一日当たりの出場件数

の値は0.0479、出場件数25の消防本部は、救急車台数9なので、 $q$ の値は0.0444、出場件数16の消防本部は7台の救急車を有しているため、 $q$ の値は0.0365である。一日当たりの出場件数16の消防本部を基準にすると、出場件数25の消防本部は11台、出場件数30の消防

本部は13台救急車が必要となる。

図2で、稼働時間は出場から病院収容までの時間とし、分布は昭和61年の全国の救急活動のデータを参考にして、平均23分、標準偏差16.6分のだ数正規分布とした。

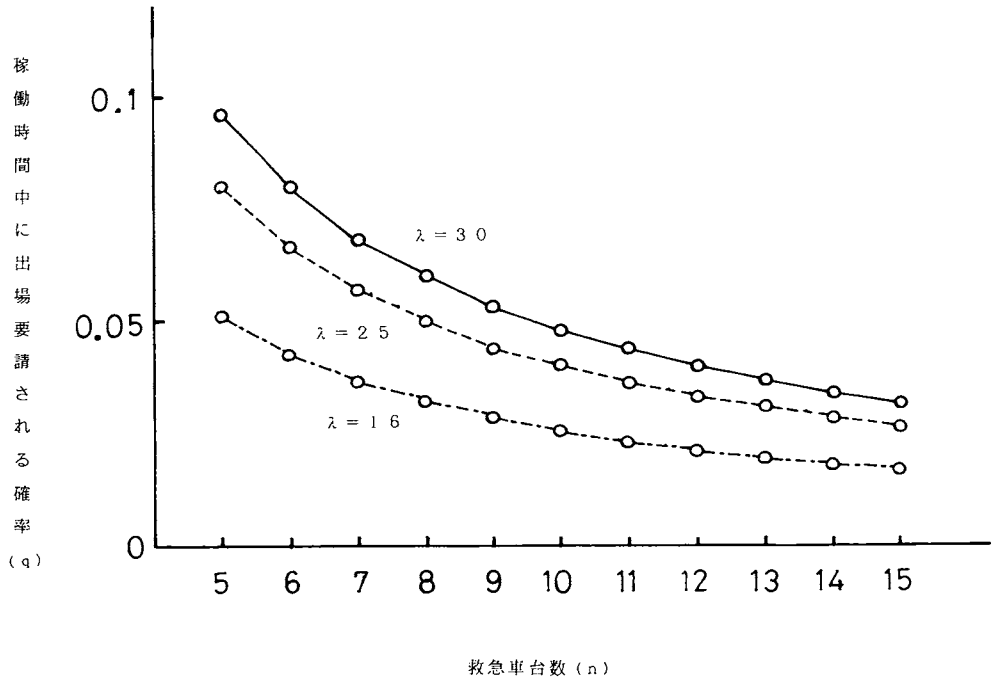


図2 救急車台数を変化させたときの稼働時間中に出場要請される確率

#### 4. 考察

2節と3節で救急車必要台数算定のための確率論的方法を二つ述べた。3節の方法は確率という形ではあるが、出場実態のうち、一日当たりの出場件数や出場一件当たりの稼働時間を、よく反映しているため、2節の方法より、よりよい方法であるとはいえる。しかし、3節で述べたように一日当たりの件数の分布をポアソン分布としてよいが、稼働時間の分布を知られている分布にあてはめることは容易ではない。よって、3節の方法を用いることはすべての地区に適用することが不可能である。そこで、精度は落ちるが、2節の一日当たりの平均稼働時間による救急車台数算定方法も非常に簡便であるため、良い方法であるといえる。

また、同じ出場件数を与え、台数を変化させても、2節の方法での結果と3節の方法での結果が同じような傾向を示すと限らない。結果が逆転することもある。それは、3節の方法では、稼働時間の分布の平均値だ

けではなく、分散等の影響を受け、平均値が小さくても、平均値の大きい方より、3節の $q$ が大きくなることもある。

上記の方法のほかに、平均稼働時間内に要請される出場件数の確率による台数算定方法や、稼働時間内に要請される出場件数の分布のみをポアソン分布とみなした場合の台数算定方法等がある<sup>1)</sup>。それらの方法で得られる数値もやはり、同じように救急車の忙しさを表わす指標といえる。

図1と図2では、稼働時間を昭和61年度の全国のデータを用いたが、実際にはそれぞれの地域のデータを用いるべきである。稼働時間として、出場から帰署までの時間も考えられるが、ここでは出場から病院収容までの時間とした。その理由は、救急車が業務から自由になるのは、病院収容後であると考えたからである。さらに、救急統計等でも問題になるのは、出場から病院収容までの時間である。

## 5. まとめ

1節で述べたように、人口の多寡に応じて定められている救急車台数算定方法を、担当区域の大きさや出場実態に応じた見直しをすることが望ましい旨提言されている。ここでは、出場実態として一日当たりの出場件数と出場一件当たりの稼働時間から、救急車の活動を分析を通した救急車必要台数算定のための二つの方法を述べた。一つは、一日当たりの平均稼働時間による方法、二つ目は、一日当たりの出場件数の分布と出場一件当たりの稼働時間の分布より、稼働時間中に発生する出場要請件数の確率による方法である。どちらの方法も、救急活動の忙しさを比較することによって、救急車台数を算定するものである。

二つの方法のうち、どちらの方法がよりよいかは、にわかには断じがたい。二つ目の方法は、稼働時間の分布が知られている確率分布にあてはまらなければ分析できない。よって、知られている確率分布にあてはめられるときは、後者の方が出場実態をよく反映しているので、よい方法ではある。しかし、稼働時間の分布が求められない場合があるので、精度は落ちるが、計算が非常に簡単にできる前者の方法も、よい方法であるともいえる。

図1等で用いた稼働時間は出場から病院収容までの時間とした。具体的な稼働時間等のデータは、実際のデータを参考にして求めたものである。ここでの方法を利用する際は、それぞれでの実際のデータを用いるべきである。

また、いくつかの消防本部のデータを利用したが、

それらは公表されたものでなく、各消防本部からお教示いただいたデータを参考にして求めたものである。データを提供して頂いた消防本部に対し御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 「消防力の基準」第十二条の七（消防庁告示第2号）（1961）
- 2) 寒河江幸平 「救急車出場件数の人口への依存度について」消研輯報第42号 p. 17（1988）
- 3) （財）消防科学総合センター「地域におけるモデル消防力に関する研究開発報告書」（1985）
- 4) Kolesar.P & E.H.Blum Management Science Vol.19 No.12 August p.1369（1973）
- 5) 寒河江幸平 「救急車台数に関する一計算法」消防研究所報告第62号 p. 57（1986）
- 6) 寒河江幸平 「救急車台数算定に関する二つの試み」日本火災学会研究発表会概要集 p. 151（1987）
- 7) 消防庁 「昭和62年消防白書」 p. 114（1987）
- 8) 寒河江幸平 「川崎市の救急活動の統計的考察」消研週報第36号 p. 31（1982）
- 9) 川崎市防災会議地震専門部会 「川崎市の震災予防に関する調査報告書」 p. 25（1982）
- 10) 寒河江幸平 「二、三の地域における救急活動の統計的解析」消防研究所報告第59号 p. 25（1985）
- 11) 寒河江幸平 「確率論的方法による救急車必要台数の算定について」日本火災学会研究発表会概要集 p. 43（1988）

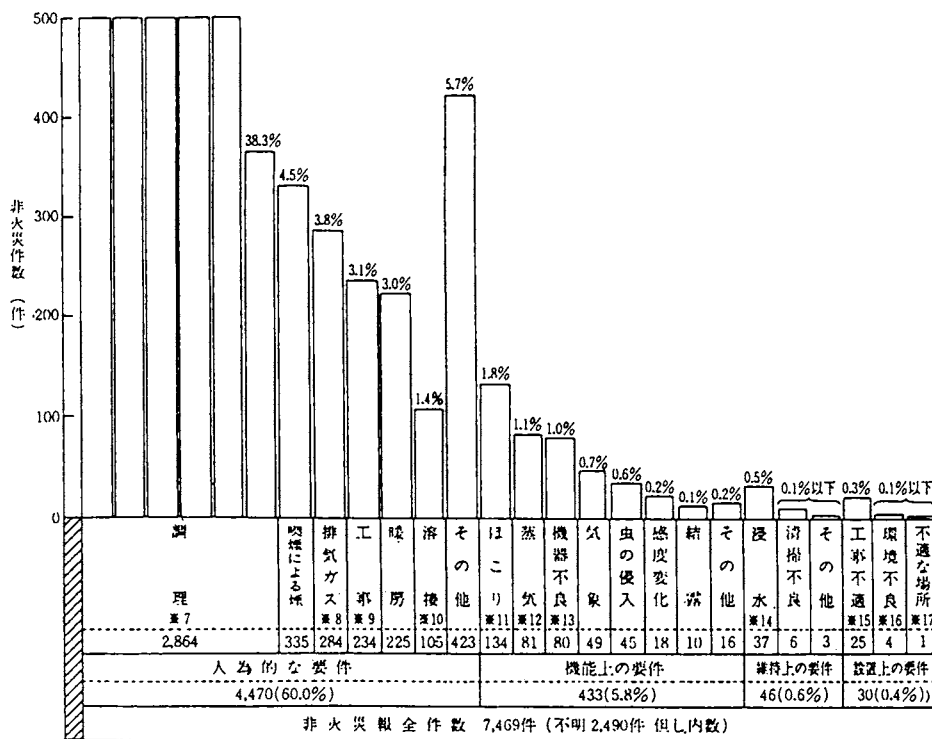
# 火災性状把握システムについて

河関大祐、佐藤晃由、竹元昭夫  
 奥田善彦\*1、神戸祥明\*1、広野淳之\*1  
 野村淳二\*2、栗尾 孝\*2、中西慎治\*2  
 草薙繁量\*3、藤岡 透\*3、渡部祥文\*3

## 1. はじめに

近年の急速な電子技術の進歩により年々高性能化している自動火災報知設備は、火災から生命・財産を守る上で社会的に極めて大きな役割を果たしている。

しかし一方で、いわゆる非火災報の発生に伴う自動火災報知設備の信頼性の不足も指摘されている。この非火災報の発生の要因として、図1に示すように湯気、調理煙、タバコの煙、埃、虫の感知器への侵入などが報告されており、現在の設備ではそれらによるセン



(注) \*7 調理による熱、煙  
 \*8 自動車排気ガスが主体  
 \*9 工事中のヤスリ掛け等による粉塵等  
 \*10 感知器直近の溶接工事  
 \*11 砂、綿埃等  
 \*12 調理、湯沸場、機械室等から流出した蒸気  
 \*13 機器内の部品、回路不良等  
 \*14 建築物のひび割れ等による浸水  
 \*15 配線の接続不良、取付不良等  
 \*16 感知器設置後の環境変化  
 \*17 感知器の遮断あやまり

図1 非火災報発生状況とその原因

\*1 松下電工(株) 電機技術開発研究所検知技術研究室  
 \*2 " インフォメーションシステムセンターA I 研究室  
 \*3 " 中央研究所センサ研究室

サー信号と火災熱煙に起因する信号とを区別できないことに問題がある<sup>1)</sup>。その結果、火災警報に対する不信を招き、自動火災報知設備の電源が切られる等、本当の火災の発見が遅れ、大事を引き起こす一因になりかねない。

このような状況から、筆者らは昭和63年度から平成2年度まで3カ年計画で、

- (1) 自動火災報知設備における非火災報の実態調査とそのデータベース化、
- (2) 新型センサーの試作、
- (3) エキスパートシステム、ファジロジック等の人工知能技術の導入によるセンサー信号処理の研究を行っている。

これらの研究結果を基礎にして、自動火災報知設備の判断力と識別力の向上を図り、非火災報を低減させるとともに、火災性状を的確に把握する能力を有するシステム

（火災性状把握システム）の試作を行っている。

本報では、まだ試作途上段階ではあるが、火災性状把握システムの全体構成の説明とサブシステムに関して行った研究結果について報告する。

なお、本研究は特に実用に供するシステムを試作することを前提にしている。そのため、本研究でこれまで行ってきた各サブシステムの種々のハード・ソフトに関する検討と実験結果のいくつかは、実用化のための制約から、試作システムに導入されるものではない。しかし、これらの経過報告も重要と考え、検討した各種システムとシステム構成について以下に詳述する。

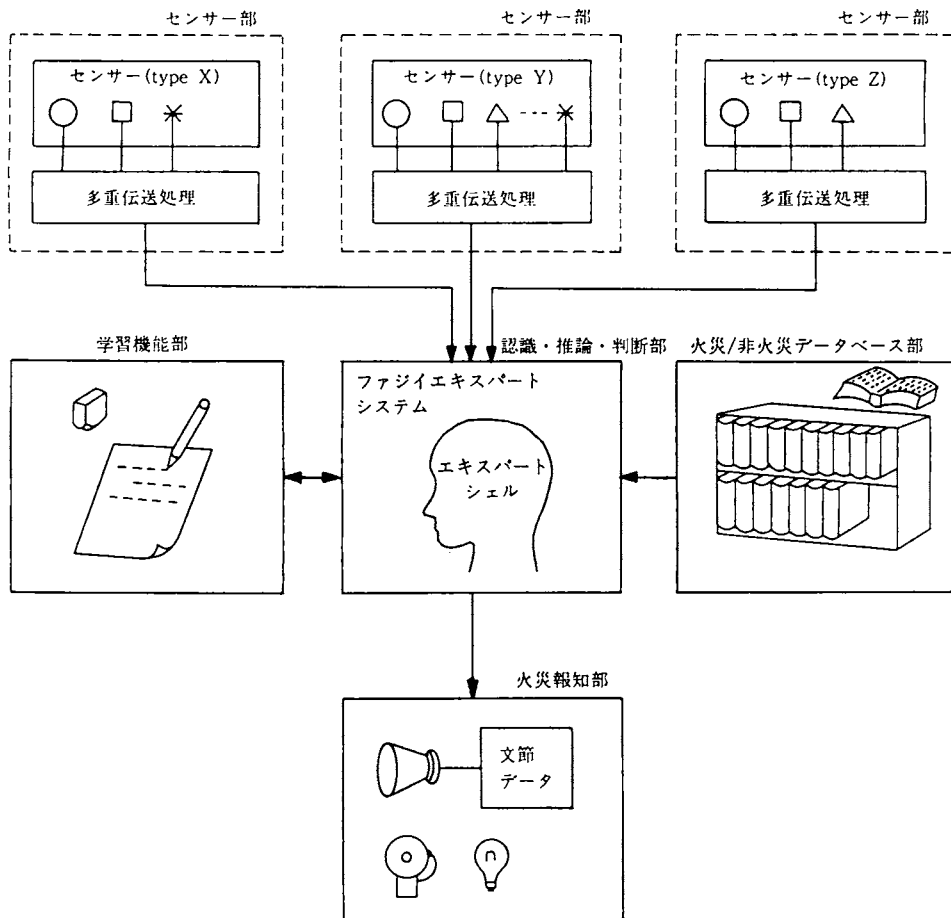


図2 火災性状把握システム構成図

## 2. システム概要

本研究で試作中の火災性状把握システムは図2に示すとおり、次の4つの機能部から構成される。

- ① センサー部
- ② 認識・推論・判断部

- 2-1 定性化処理部
- 2-2 知識ベース部
- 2-3 ファジ推論機構部

- ③ 学習機能部
- ④ 火災報知部

### 2.1 センサー部

現在の自動火災報知設備に用いられている感知器は火災に伴う熱、煙等によるセンサー信号が閾値を超えたか否か(オン・オフ)の情報によって火災の検知を行っており、このようなセンサーでは非火災要因である湯気と火災煙の区別はできず、火災時の室内の状況も的確に把握できない。

このような問題点を解決するため、筆者らはセンサー部に関し、次のような研究を行ってきた。

- (1) 湯気、埃、タバコ煙などと火災煙を粒子の粒径の差により光学的に識別する方法の検討
- (2) 湯気、タバコ煙などと火災煙とをCOガスセンサーと既存センサーとの複合化により識別する方法の検討

- (3) 火災であるか否かの判断に在室者有無情報を取り入れるための在室者センサーの検討
- 以下にこれらの検討結果について触れる。

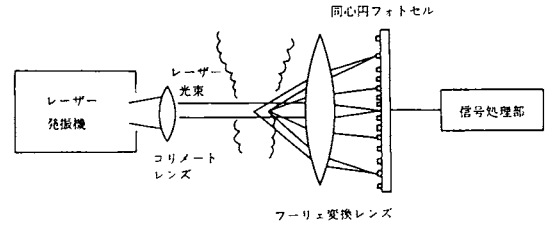


図3 フラウンホーファー回折法を用いた粒径計測装置

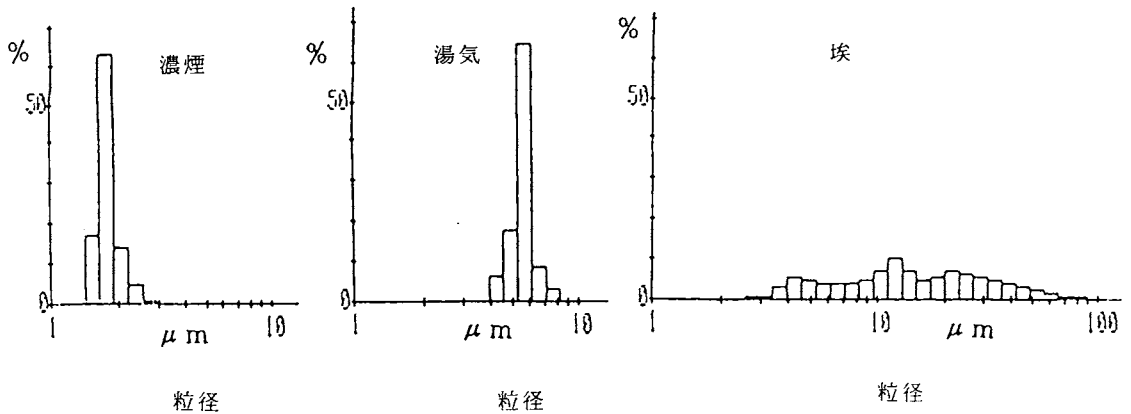


図4 煙・湯気・埃の粒径分布パターン

#### 2.1.1 粒径センサー

光学的に湯気、埃、煙の粒子の識別を行う方法に関しては、次の2つの方法による実験を行った。

方法[1] レーザー光を用いて粒子の粒径分布を計測するフラウンホーファー回折法

方法[2] 3波長の光の減光係数の比から粒子の識別を行う方法

第1の方法は、微粒子による光の散乱が、粒径に依存するフラウンホーファー回折を生じることを利用し、回折光の強度分布測定により粒径分布を求めるものである。実験は図3に示すような装置<sup>2)</sup>を用いて行い、フォトセル上の結像から回折角度別の光強度を測定し粒径分布を求めた。

図4は本装置で測定した綿布のくん焼煙、湯気、埃の粒径分布パターンであるが、それぞれの粒径分布のピーク位置または分布幅が明らかに異なり、煙、湯気、

埃の区別が可能であることを示す。ただし、くん焼煙は煙発生器から出た直後の濃い状態のものである。

第2の方法は、光の減衰量が次式に示すとおり、光の波長や粒子の粒径等に依存することに基づいている

$$\tau(\lambda) = \exp(-\pi \cdot (d/2)^2 \cdot Q_{\text{EXT}} \cdot Z \cdot L)$$

ただし  $\tau$  : 波長 $\lambda$ の光の透過率

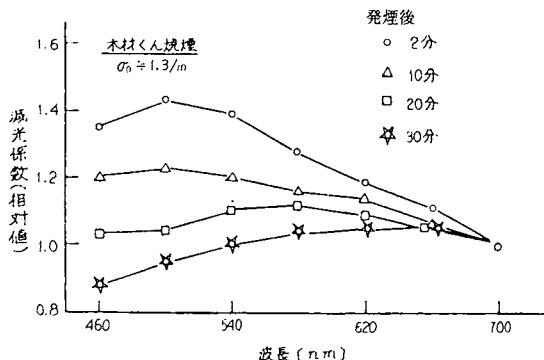
$d$  : 粒径 (m)

$z$  : 粒子数密度 ( $\text{m}^{-3}$ )

$L$  : 光路長 (m)

$Q_{\text{EXT}}$  : 波長、粒径、複屈折率等をパラメータとする減衰係数

この式に関連し、煙が光をどの程度減衰させるかを波長別に調べた神<sup>3)</sup>による結果を図5に示す。この図から、煙を透過する光の減衰量が波長ごとに異なることがわかる。



○: 煙濃度  
 図5 煙の分光減光特性 (神による)<sup>3)</sup>

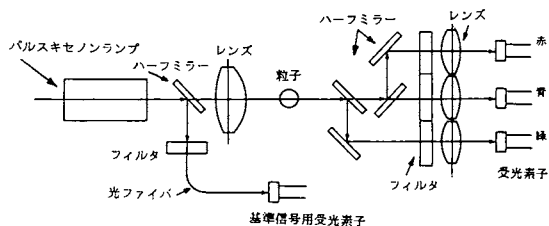


図6 三波長減光式分光測定装置

ここでの3波長による方式では、図6に示す実験装置<sup>4)</sup>を用い、火災煙(ヘプタン及び木材の燃焼)と排気ガス、湯気、置きタバコ、焼肉、焼魚からの煙など20種類の試料について測定を行った。その結果、波長550nmの光の減光係数値が5%/mの時、波長450nmと650nmの光の減光係数の比(R/B比)は表1に示すようになる。この表から、R/B比が1.3~2.0の場合に火災煙が発生している可能性が高いと推定される。

以上の結果で、火災煙、湯気、埃等の粒子を光学的計測により識別の可能性が示された。しかし、これらに基づくセンサーを実用化するためには、センサーの小型化、消費電力の低減、製造コスト等の問題を解決する必要があり、本研究の目標とする実用には現段階ではなお時間が必要である。

表1 火災煙と非火災煙の分離

R/B比	~1.3	1.3 ~ 2.0	2.0 ~
試料	湯気	ヘプタン 木材	焼肉

### 2.1.2 COガスセンサーと既存センサーとの複合化

COガスセンサーと既存センサーとの複合センサーでは、新型のCO検知素子と散乱光式煙センサー、サーミスタ温度センサーを一体化した複合型火災検知センサーの試作を行った。

この複合型火災検知センサーの試作は、火災の早期検知及び火災と非火災との識別における信頼性の向上に資することを目的としている。即ち、この複合型火災検知センサーを用いることにより、火災を煙、熱の発生に加えてCOガスの発生から検知すると共に、COガスの発生しない湯気や埃などを識別することができる。

ところで、現在用いられている半導体(主にSnO<sub>2</sub>)式COガス検知素子は加熱ヒーター(100~300mW)を必要とし、消費電力の点で問題がある。そのため、本研究では、半導体素子に代わり、高分子電解質膜CO検知素子を使用した。この素子は図7<sup>5)</sup>に示すように、3つの電極とそれらを覆う高分子電解質層(商品名ナフィオン)で構成され、加熱の必要がなく低電力(0.1mW)で作動する。このセンサーとCOガスの反応式は以下のとおりである。

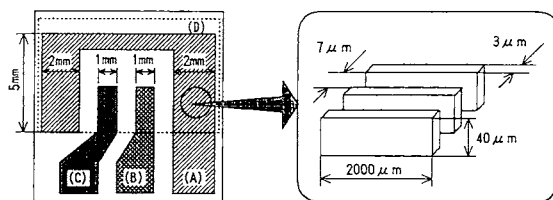
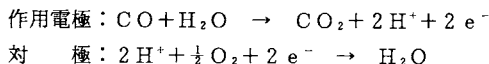


図7 COガス検知素子  
 A: 作用電極 (Pt) B: 参照電極 (Au)  
 C: 対電極 (Pt) D: Nafion膜形成部分 (点線内部)

この素子を火災/非火災実験に用いたところ、火災実験ではCOガスを良好に検知し、一方、浴室から流出する湯気には反応しなかった。従って、火災検知並びに火災/非火災の識別に関して、同センサーのCOガスに対する感度と選択性が良好であることを確認した。

さらにまた、実用上のコスト低減の観点から従来どおりの煙または熱だけの1素子のアナログ式センサーを用いる場合、または熱と煙の2素子のアナログ式複合型センサーを用いる場合について、人工知能ソフトで識別対処する方法についても検討している。

なお、これらの複合型センサーは、実用上、現在の建物内配線と同じ3線式信号線が使用できるように、各素子の電圧出力を量子化、多重化してデジタル伝送する機構を有している。

### 2.1.3 在室者センサー

魚や肉の調理中に発生する煙と火災における初期煙とを上記熱センサー・散乱光式煙センサー・COガスセンサーで識別することは困難であるため、この要因による非火災報を防止する目的で、調理室から多量の煙が発生している時、その場所に明らかに人がいるかどうか確認するため、在室者確認センサーの検討を行った。このセンサーを用いた在室者把握システムは、上記の目的のみならず、消防活動上極めて有用なものである。

在室者センサーを火災かどうかの判断に用いるのは、調理中は発煙している調理器具の付近に人間がいることが正常状態で、もし多量の煙が煙センサーに感知されながら無人状態であれば、例えば調理中でも異常状態であると設定する。この設定は、消防白書において、てんぷら等の調理中、その場所を離れ、火災に至った件数が火災件数の上位に報告されていることに基づいている。

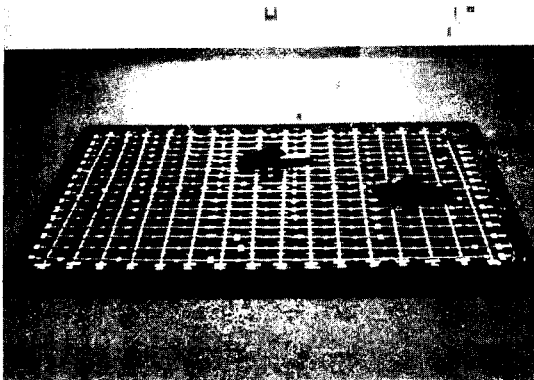


図8 足踏マット式通過人数計測装置

ここでは、既に市販されている赤外線センサーや超音波式センサーを天井にとりつける方法のほか、圧電素子を用いた足踏マット式通過人数計測装置（図8）<sup>6)</sup>、音声応答システムによる方法等の検討を行った。

その結果、市販の赤外線センサーや超音波センサーを用いる方法では、熱源や物体の存在及び熱気流による誤作動を生じる場合があることがわかった。従って、正確に人体を検出するためには、例えば複合センサーとファジィエキスパートシステムの組合せにより、熱源や物体と人体との識別を行う方法等を検討する必要

がある。

また、圧電素子足踏マットによる通過人数計測による在室者把握法では、①複数人の同時通過で誤差を生じやすいこと、②誤カウントが生じた場合いつまでも残る誤差をリセットする方法がなく在室者がいなくても在室中と判断し、またその逆に、在室者がいても不在室中と判断される等の問題があること、③通過者に常に踏みつけられることによる耐久性の問題、④通過を予想されるすべての出入口に設置し、常時計測を必要とする問題、⑤床に設置することによるビル清掃上の問題等の難点があることがわかった。

音声応答システムによる方法は、火災性状把握システムが在室者の有無について音声で問い合わせを行い、それに対する人間の音声応答で在室者を確認する方法である。この方法の実現について、音声による問い合わせは、火災報知部（後述）の音声合成器で対応できるが、①人間からの音声応答に対する認識技術とその精度の問題、②プライバシー侵害を連想させ、抵抗感、不快感をいだかせる等の問題のあることがわかった。

## 2.2 認識・推論・判断部<sup>7-10)</sup>

### 2.2.1 火災-非火災識別

現在の火災報知設備では、非火災報対策として、信号出力の継続時間を考慮した蓄積型信号処理やプレアラーム方式などが採用され、従来のものよりかなりの改善がなされている。しかし、それらの方式では、例えば非火災報要因の一つである湯気と火災煙の識別ができず、非火災報は発生する可能性がある。また、火災性状の把握も困難である。

このため火災性状把握システムでは、センサー部はすでに述べたように、1素子、または2素子、あるいは3素子からのアナログ計測信号を送り出すこととし、火災であるか否かの判断並びに火災性状の把握を行う認識・推論・判断部を受信機側に持たせることとした。なお、将来の実用システムではコンピュータネットワークのように、途中の中継機のCPUにその処理を行わせ、受信機の負担を軽減する方法も検討している。

認識・推論・判断部にはファジィ・エキスパートシステムを導入した。ファジィ・エキスパートシステムはエキスパートシステムの推論機構にファジィ推論機構を用い、ファジィルールに従った曖昧性を含む推論を行う手法である。このシステムを用いることにより、定量データ（センサー出力）を、曖昧性を含む定性的なデータ（「多い」、「少ない」、…）に変換することができる。例えば、火災であるか否かの判断ルールは、次のように変換される。



「煙濃度=10%/m、温度上昇率=10℃/sec→警報」



「煙が濃く、温度が急激に上昇したので火災の可能性が高い」

（～は曖昧性を含む定性データ）

このように、ファジィ・エキスパートシステムを使用することにより、人間の判断方法を容易に取り入れることができ、センサー部から大量に送られてくるデータの処理に適する。

ファジィ・エキスパートシステムは図9に示すとおり、次の3つの機構で構成される。

- ① 定性化処理部
- ② 知識ベース部
- ③ ファジィ推論機構部

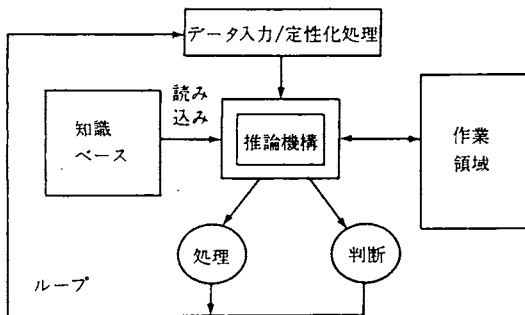


図9 認識・推論・判定部構成図

定性化処理部はあらかじめ与えられた閾値（アラームレベル等）とセンサー信号レベルの大小関係及びセンサー信号の増減状況を示す時間微分値を時区間ごとに計算する。

知識ベース部は、火災・非火災を判別するための知識を格納する部分であり、事実群からなる事実ベース（後述のデータベース）とファジィルール群からなるルールベース（図10）で構成される。

ファジィ推論機構部は、定性化処理部から送られてきた情報と知識ベース内にあるファジィルールを照合し、ルールに従ったメンバーシップ関数（図11に発炎燃焼、くん焼、タバコ、湯気のメンバーシップ関数の一例を示す）を用いてセンサー信号の意味解釈を行い、推論・判断（図12）を行う。エキスパートシステムにファジィ処理を用いることで、火災・非火災または火災状況の最終判断が得られるまでの不確定な時点、すなわち、仮設と予測が繰り返されている（図13）最中の判断状況を提示（図14）することもできる。

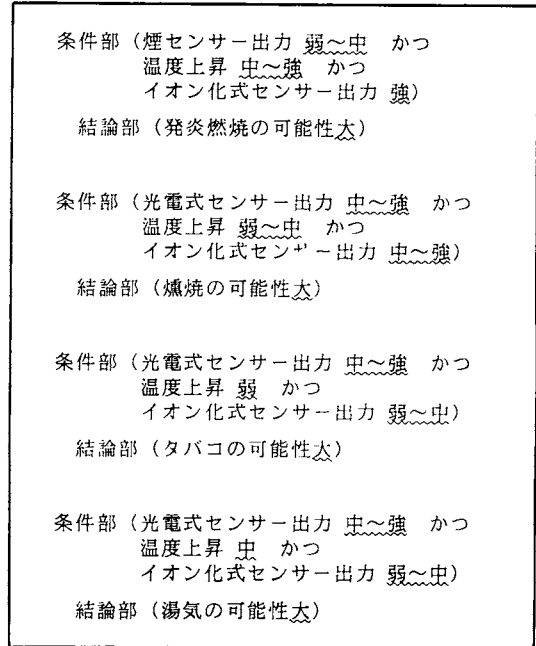


図10 ファジィルールの例  
（～は曖昧性を含む定性値）

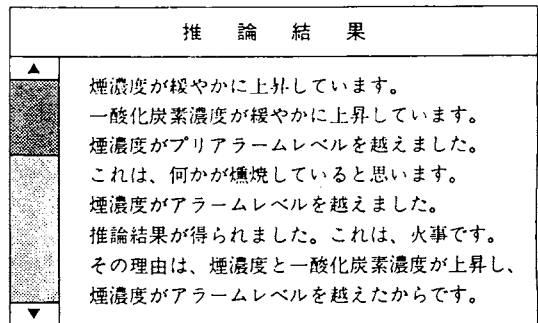


図12 推論結果の出力例

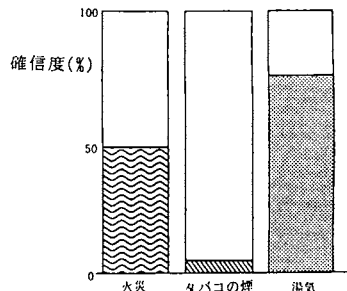
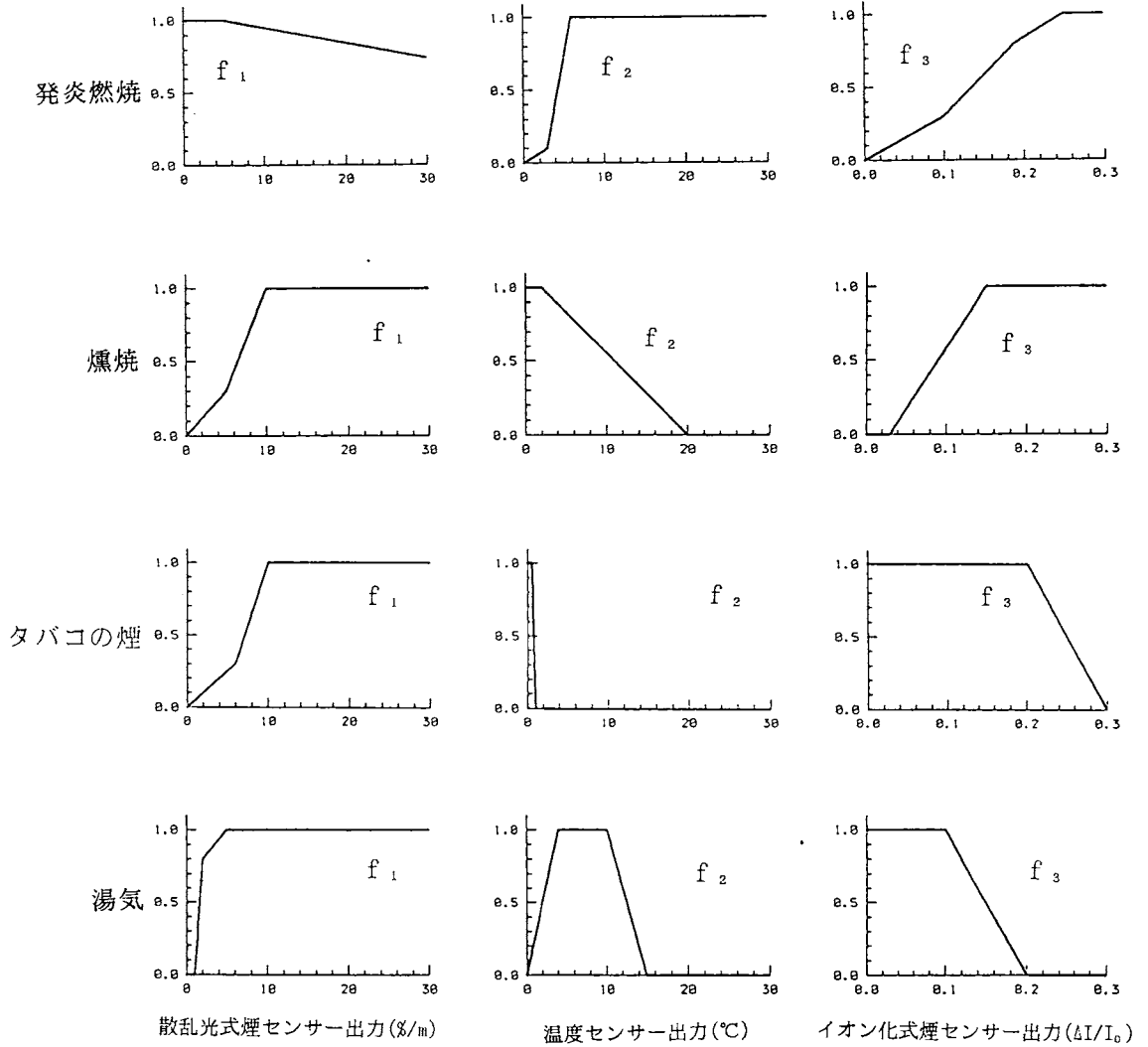


図14 ファジィ推論の表示例  
（湯気での非火災報実験）



- $f_1$  : 散乱光式煙センサー用メンバーシップ関数  
縦軸：ファジィ集合に属する程度、横軸：煙濃度(%/m)
- $f_2$  : 温度センサー用メンバーシップ関数  
縦軸：ファジィ集合に属する程度、横軸：温度上昇値(°C)
- $f_3$  : イオン化式煙センサー用メンバーシップ関数  
縦軸：ファジィ集合に属する程度、横軸：イオン電流比( $\Delta I/I_0$ )

図11 メンバーシップ関数の例

発炎燃焼、燻焼、タバコの煙、湯気それぞれに3種類のメンバーシップ関数( $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ )を用意し、  
 $f = f_1 \times f_2 \times f_3$   
 で、それぞれの確信度を求める。

定性化処理部からの情報⇒「煙濃度が或る閾値を超えている」

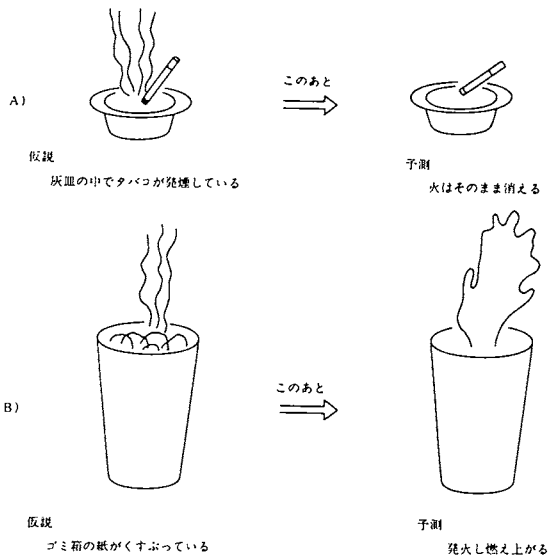


図13 仮説生成と状態遷移予測の例

定性化処理部からの「煙濃度が或る閾値を超えている」との情報により、可能性が高いと思われる仮説と予測をたてる。

(図13は次のA,Bの仮説と予測に対応する)

A) 【仮説】灰皿の中でタバコが発煙している。

【予測】このあと、そのまま消える。

B) 【仮説】ゴミ箱の紙がくすぶっている。

【予測】このあと、発火し燃え上がる。

その後、計測データから各予測の真偽を判別し、新たな仮説と予測を行う。この繰返しで状況を絞り込んで行く。

### 2.2.2 火災-非火災発生箇所 の推定<sup>11)</sup>

認識・推論・判断部には火災、非火災要因の発生箇所を自動的に推定する機能が組み込まれている。これは、火災監視対象室内天井部の複数箇所に複合型火災検知センサーを設置することにより、室内平面を複数区画に分割し、火災、非火災要因がどの区画に存在するかを判断するものである(図15)。

火災-非火災発生箇所は、センサー信号処理の高速化と自動推定の精度向上のため、ファジィ・ベイズ手法<sup>12)</sup>を用い、複合型火災検知センサーの各センサー信号ごとに場所の推定を行う。各センサーごとに推定場所が異なる場合には、各センサーごとの結論の多数決により区画を推定する。

実験による火災、非火災要因発生箇所自動推定の実行例を表2に示す。この実験は室内天井部の3カ所に複合型火災検知センサーを設置し、室内を7区画に分割した状態で、図15の第1区画でベッドシーツをくんで燃させたときのものである。実験の結果、表2に示すように3種類のセンサーとも、第1区画の火災の可能性が最も高いと推定している。

表2 ファジィ・ベイズ手法による火源位置推定結果  
(第1区画(図15対応)でベッドシーツを燃焼させた場合)

区画番号	1	2	3	4	5	6
銅-コンスタンタン熱電対	33.6	25.6	19.5	0.4	2.0	19.1
光電式スポット型煙感知器	28.7	22.9	21.1	6.0	4.2	17.2
イオン化式煙感知器	33.9	23.3	15.7	0.5	4.4	22.2

注-1: 表中の数字は当該区画に火源が存在する確率(%)を表す。  
注-2: 第7区画の確率値は求めない。第1~6区画の確率値に大差のない場合(≒16%),第7区画を火源の存在する区画と判定する。

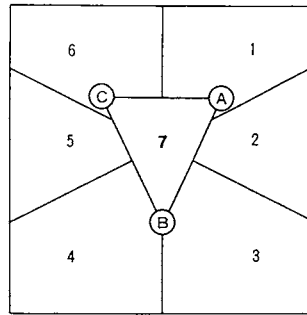


図15 火災監視対象室分割例(7分割)

火災、非火災要因発生箇所自動推定機構で火源位置を推定するために分割される区画(A, B, C)のすべてに複数種類のセンサーを設置したときには各推定結果の多数決により火源位置を推定する。

### 2.3 火災/非火災データベース部

本機能部は、様々な状況下における各種センサーの信号出力を認識・推論・判断部並びに学習機能部から参照できるようにデータベース化するものである。

このデータベースは、火災性状把握システム自身が測定したデータ並びに実験により収集した<sup>13,14)</sup>火災/非火災データ(図16)及び実際の建物の自動火災報知設備の非火災報データ<sup>15)</sup>で構成される。

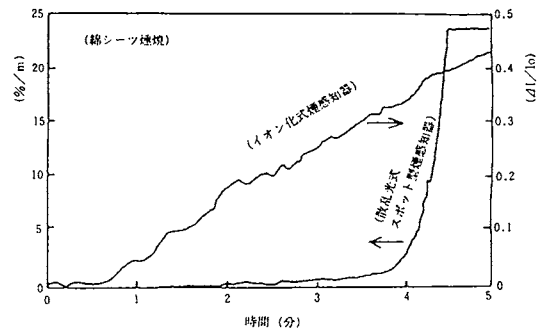


図16 火災/非火災実験におけるセンサー出力例

## 2.4 学習機能部

上記火災判断に用いる事実ベース及びルールベースは実験で収集したデータ並びに実際の建物から収集された非火災報データに基づいて作成する。すなわち、このようにして作成した知識ベース部は、本研究で利用した実験環境と数例のビル固有の環境に関する知識のみが組み込まれていると言える。このため、設置場所によっては必ずしも充分ではないことが考えられる。そこで、本火災性状システムでは、知識獲得支援システムを含む学習機能部によってその環境に応じたルールの追加・修正を行うことを検討している。

## 2.5 火災報知部

現在の自動火災報知設備は、火災情報をベル発報や表示盤等を用いて人間に伝えるため、情報伝達が不十分な場合がある。これに対して火災性状把握システムの火災報知部では、従来の方法に加え、認識・推論・判断部より送られてきた判断過程や結果をCRTモニター、情報表示盤あるいは音声合成器による音声出力などを使用し、火災情報伝達の総合的なレベルアップを行なっている。

## 3. おわりに

火災性状把握システム試作のため、これまでに複合型火災検知センサーを始めとする新型センサーの開発、火災／非火災データベースの整備、エキスパートシステムやファジロジック等の人工知能ソフトウェア技術の導入の研究を行ってきた。今後、これらの成果を試作機に組み込むための作業と同時に、操作スイッチ類の機能や取り付け位置、CRT画面表示や音声合成メッセージの内容など、マン・マシンインターフェイス部分に対して十分な検討を行い、良好な操作性を備えた機器に仕上げる予定である。

## 参考文献

- 1) 河関：「近未来の火災感知技術について」、第35回全国消防技術者会議資料、消防研究所、p 122(1987)
- 2) 河関、佐藤、竹元、奥田：「粒経による湯気と煙の識別について」、平成元年度火災学会研究発表概要集、日本火災学会、p 37(1989)
- 3) 神：「煙中の視程と煙センサの作動性能ならびに設置上の指針」、煙センサに関する諸問題と技術指針、照明学会、p 35(1983)
- 4) 広野、竹元、神戸：「3波長方式による火災煙と非火災煙の識別(1)」、平成2年度火災学会研究発表概要集、日本火災学会、p 67(1990)
- 5) S.Kusanagi, et al. : Planar Microelectrochemical Carbon Monoxide Seneor, Sensors and Actuators, BI(1990)319-325
- 6) 河関、佐藤：「在室者把握システムに関する研究(その1)」、第23回安全工学研究発表会講演予稿集、安全工学協会 p 55(1990)
- 7) 野村、栗尾、中西、西山、榎木、片井、岩井、佐藤、竹元、河関：「時系列データの定性的解釈機構を有する火災性状把握システム」、第28回計測自動制御学会学術講演会予稿集、計測自動制御学会、p 835(1989)
- 8) 野村、栗尾、中西、西山、榎木、片井、岩井、佐藤、竹元、河関：「複数センサーデータの定性的解釈に基づく火災・非火災現象パターンの同程」、第15回システムシンポジウム・第10回知識工学シンポジウム合同シンポジウム講演予稿集、計測自動制御学会、p 149(1989)
- 9) 中西、栗尾、兼田、野村、佐藤、竹元、河関：「火災判断ファジィエキスパートシステム」、平成2年度火災学会研究発表概要集、日本火災学会、p 59(1990)
- 10) 兼田、中西、栗尾、野村、中森、佐藤、竹元、河関：「火災判断におけるファジィモデリング技術の応用」、日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会概要集、p 206(1990)
- 11) 河関、佐藤：「火災性状把握システムに関する研究(その1) - 天井の三カ所に設置した三種類のセンサー群による火災性状把握 -」、消防研究所報告第69号、p 55(1990)
- 12) 浅井、田中：「ファジィ意志決定について」、数理科学、サイエンス社、p 47(1979-5)
- 13) 河関、佐藤：「室内火災煙のパターン認識に関する研究」、第22回安全工学研究発表会講演予稿集、安全工学協会、p 5 (1989)
- 14) 河関、佐藤：「室内火災煙の拡散測定について」、平成2年度火災学会研究発表概要集、日本火災学会、p 13(1990)
- 15) 竹元、河関、渡辺、山内、万本：「非火災報の発生原因とその継続時間について\*\*ホテル客室の場合\*\*」、平成2年度火災学会研究発表概要集、日本火災学会、p 59(1990)

消防研究所の研究活動

## 『消防研究所報告』掲載論文の概要

消防研究所で行った研究成果の一部は『消防研究所報告』として刊行され、国内・国外の学界、研究機関、都道府県、消防学校、大きな都市の消防本部等に頒布しております。研究の詳細についての御希望や御意見等がございましたら、消防研究所まで御連絡下さい。

通巻69号 (1990年3月)

東京湾岸及びその周辺で観測されるP波初動付近の位相について

座間信作

東京湾沿岸とその周辺で得られた地震記録のP波初動付近の水平成分に顕著な位相を見いだした。この位相の特徴として、特に Radial 成分にみられ、P波上下動成分の波形に酷似していること、P波初動振幅が大きい時には常に現われること、この位相とP波の到達時間差 (T(PS-P)) は震源に依らず観測点毎にはほぼ一定 (約1.5~2.3秒) であること、粒子軌道は震央と観測点を結ぶ断面内でP波のそれと直交することが挙げられる。これらの特徴からこの位相は観測点付近の地下構造の影響によると考えられた。

T(PS-P)、P波上下動成分とPS変換波のRadial成分の振幅比について、地下構造のよく分かっている夢の島付近の構造を用いて変換面の検討を行なった結果、変換面としていわゆる基盤層と堆積層との境界を考えるのが妥当であることが分かった。

更にT(PS-P)の実測値とP波に関する基盤深度分布図とから、堆積層の平均的なS波速度が求められることを示した。

積載三連はしごの強度について  
一市販の積載はしごの強度

山田 實・亀井浅道・天野久徳

市販の鋼管製およびアルミニウム合金製の積載三連はしごの強度を実験的および有限要素法により解析的に調べた。その結果、有限要素法による解析結果と実験値はよく一致していることからこの解析方法ははしごの構造解析に有効であること、動荷重での最大応力は静荷重でのそれより約2倍以上大きいとその頻度は全体度数の10%以下であることなど軽量積載三連はしごを開発するための十分な基礎的知見が得られた。

標高データの自動読み取り法について

田村裕之・稲垣 実・山下邦博

林野火災の延焼には、地形、気象、樹種などの多くの要因が影響を与える。これらのデータを盛り込んだ林野火災の延焼拡大予測の研究の一環として、地形図から自動的に地形の標高データを読み取る方法について考案した。

パソコンのディスプレイ上に表示された地形図の等高線間を低地から高地に向かい青、赤、紫の順に塗る。標高の読み取りは、座標原点 (左上の隅とした) を基準として色の変化を検出することにより、等高線の標高差を加えたり、減じたりして求める。この方法で等高線高さの標高データが得られる。その後このデータを実際の地形に近づけるために平滑化する。この方法により、シミュレーションに必要な標高データを、短時間でしかも簡単に読み取り、計算機に自動入力することが可能になった。同様に、樹種、林分の閉鎖度などのデータもプログラムの一部を変更することにより作成することができる。

X線回折による石油タンク隅肉溶接部の疲労損傷評価  
一応力振幅をパラメータとした場合一

天野久徳・亀井浅道・山田 實

石油タンクに亀裂が発生すると石油が漏洩し大事故につながる。事故を予防するには事前に亀裂発生時期を知る必要がある。亀裂の発生要因となる負荷としては、貯油の出し入れや地震による繰り返し荷重が考えられる。一般に金属材料の繰り返し応力が作用すると金属組織が変化し、その結果残留応力状態が変化する。亀裂は金属組織が変化して発生すると言われている。そこで、石油タンク隅肉溶接部を模した試験片で低サイクル曲げ疲労試験を行い、X線回折測定を行った。その結果、残留応力および半価幅の変化過程と亀裂発生位置の特徴を明らかにした。さらに、半価幅の変化

について回帰曲線を与えた。

#### 熱放射に対する防火衣等の防熱効果（その2）

—着用者の耐熱限界時間について—

渡部勇市

消防隊員が着用する作業服、単層防火衣、二層防火衣、耐熱服の熱放射に対する防熱性能を把握するために、腕に各防護服の布地を巻き着けた被験者腕の部分を4.4、6.4、9.4kW/m<sup>2</sup>の熱放射照度で加熱し、各防護服の耐熱限界時間を測定した。また、着用者の耐熱限界時間と熱放射照度の関係について明らかにした。

熱放射照度9.4kW/m<sup>2</sup>に対する着用者の耐熱限界時間（被験者の熱痛覚時間）は耐熱服が一番長く、次いで単層防火衣、二層防火衣、作業服の順に短くなった。耐熱服は、受熱時間3分内で熱痛覚はなかった。その他のものはそれぞれ約45秒、13秒、8秒で熱痛覚があった。

また、布地、皮膚の熱定数、布地表面の自然対流熱伝達率等を仮定することにより、皮膚表面の温度上昇を差分方法で数値計算し、熱痛覚が発生する皮膚表面温度（一般に44℃）に達するまでの時間を求めた。その結果、数値計算で求めた耐熱限界時間は被験者による耐熱限界時間の測定値と大差なく求めることができ、防護服の熱放射に対する耐熱限界時間の推定方法の可能性について幾つかの知見が得られた。

#### 林野火災における飛火と飛火を考慮にいたした延焼シミュレーション

稲垣 實・山下邦博・田村裕之

林野火災における飛火延焼に関する資料より飛火延焼距離の分布と飛火の飛散方向の分布をもとめた。これらのデータを用いて飛火延焼をシミュレートするモデルを作成し、従来から開発を進めてきた地表延長をシミュレートするモデルに飛火による延焼機能を付加した。現実の火災をシミュレートするには飛火による延焼の発生時期、発生数の推定などにまだ困難な点が残っている。

#### 火災性状把握システムに関する研究（その1）

—天井の3ヶ所に設置した三種類のセンサー群による火災性状把握—

河関大祐・佐藤晃由

自動火災報知設備の信頼性の一層の向上を図るとともに、火災の性状を的確に把握できるシステムを試作するための資料を得ることを目的として、本研究では現在の単一センサーに代わって、複数個、複数種のセンサーの組み合わせにより、より強力なセンシングを行

うことを考えた。そこで、従来型の3種のセンサー群を3ヶ所に設置した場合、火災感知においてどのように信頼性の向上を図ることができ、また、どのように火災の性状の把握を行うことができるか検討した。

その結果、本研究で用いた方法は、非火災報の低減に有効である上、火災および非火災原因の発生場所の認識においても、有効であることがわかった。

また、システムを試作するための資料となる煙、ガス等の拡散状況に対応するセンサー信号特性に関するいくつかの有益な知見が得られた。

[所外発表論文]

所外発表論文については、題名、著者名、掲載誌名及び巻号のみ記す。

A Numerical Study of Ceiling Jets Based

on "T" Pattern Flames

Kohyu Satoh

Fire Safety Science—Proceedings of the Second International Symposium, P.159(1989)

実建物火災実験における天然系及び合成系収納物からの有毒ガスについて

守川時生・箭内英治・渡辺貞一

(岡田健夫、佐藤喜宣)

日本火災学会論文集、Vol.38, No.2, P.35(1989)

Experimental Study of Human Behavior in Smoke Filled Corridors

Tadahisa Jin and Tokiyoshi Yamada

Fire Safety Science—Proceedings of the Second International Symposium, P.511(1989)

A Systemic Approach for the Optimum Firefighting Operation against Multiple Fires Following a Big Earthquake

Ai Sekizawa, Kohei Sagae, and Hiroaki Sasaki

Fire Safety Science—Proceedings of the Second International Symposium, P.423(1989)

Experimental Study on the Mechanism of Hot Zone Formation in Open—Tank Fires

Kazutoshi Hasegawa

Fire Safety Science—Proceedings of the Second International Symposium, P.221(1989)

Combustion Properties of Large Liquid Pool Fires

Hiroshi Koseki

Fire Thechnology, Vol.25, No.4 P.241(1989)

Burning Characteristics of Heptane in 2.7 m Square Dike Fires

Hiroshi Koseki and Taro Yumoto

Fire Safety Science—Proceedings of the Second International Symposium, P.231(1989)

Estimation of Thermal Balance in Heptane Pool Fire

Hiroshi Koseki and Hiroshi Hayasaka\*

Journal of Fire Sciences, Vol.7—July/August P.237(1-989)

ケラチン加水分解物の泡立ち性について (第5報)

限外濾過法によって分画された高分子量のケラチン加水分解物の泡立ち性及び金属塩添加の影響について

星野 誠

油化学, Vol.38, No.7 P.558(1989)

Gas Screening Effect Caused by Steam Curtains

Kimio Sato

(Journal of Loss Prevention in the Process Industries Vol.2, October, P.209(1989)

Characteristics of the Conical Pile Type Burning Test Method for Determining the Potential Hazards of Oxidizing Material

Kazutoshi Hasegawa, Kazutomo Kondo, Yoshihisa Hirata, and Hidefumi Naba

Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.2, No.3, P.135(1989)

セタ開放式引火点試験器による引火性の測定

那波英文・長谷川和俊

安全工学, Vol.28, No.3, P.152(1989)

高張力鋼における腐食疲労き裂の形態

山田 實・亀井浅道

日本機械学会論文集 (A編) 56巻, 522号, P.244(1990-2)

通巻70号 (1990年9月)

東京湾岸におけるやや長周期帯域の地盤の卓越周期

座間信作

東京湾岸におけるやや長周期地震動予測を行なうための基礎資料を得る目的で、周期約2から10秒の帯域の卓越周期を微動測定・地震動観測・地下構造から求め比較した。その結果、微動と地震動の卓越周期は約4、8秒前後、また地下構造から得た卓越周期は4秒付近にあって互いによく一致しており、地震観測が行なわれていない地点の卓越周期は簡便な微動測定によって推定可能であることが分かった。

非溶融性繊維織物の高度難燃性能評価

斎藤 直・筋内英治

消防法令の防災基準を満たす難燃材料・製品のランク付けされた難燃性能を高度難燃性能と定義し、この性能を評価する方法について考察した。そして、放射熱とパイロット火炎を併用する試験方法を提案し、試験装置を試作した。この試験装置を用いて、宇宙開発にともない開発された耐熱性難燃繊維織物を含む21種類の非溶融性繊維織物試料の難燃性能を測定した。その結果、これらの試料の難燃性能をランク付けして評価することができた。本研究で得られた高度難燃性能は、消防法令による防災試験結果とよい整合性が認められた。しかしJIS法によって測定された酸素指数との相関は認められなかった。

開発した軽量積載三連はしごの強度について

山田 實・亀井浅道

前報では市販の鋼管製とアルミニウム合金製の積載三連はしごの強度を調べ、その安全性を検討した。ここで得られたデータを基礎として、アルミニウム合金パイプを用いて軽量三連はしごを試作した。開発したはしごの重量は約21kgfで鋼管製(43kgf)の重量の約半分である。その結果、開発した軽量三連はしごは十分な強度を有していることが明らかになった。

[所外発表論文]

所外発表論文については、題名、著者名、掲載誌名及び巻号のみ記す。

原油の燃焼性状

古積 博

安全工学, Vol.29, No.2, P.95(1990)

## 消防研究所「月例研究会」要旨

〔平成2年1月8日〕

火災危険分析手法を体系化するためのフレームワーク：関沢愛（地震防災研究室）

近年、日米両国において防火上の諸問題のための火災危険分析手法やモデルが急増し、現実の問題の解決に関してある程度影響を与えるまでに至っている。しかしながら一方で、これらに用いられている基本的用語や概念をめぐって、現在もなお、かなりの程度の不一致や混乱が残っている。本研究は、こうした用語を整理するとともに、現存する多様な火災危険分析モデルを包含し得るような各種手法を記述し体系化するための概念的フレームワークを提示し、同時にこの考え方にに基づき既存の幾つかの手法の要約を試みたものである。

天井の3ヶ所に設置した3種センサー群による火災性状把握：河関大祐、佐藤晃由（通報設備研究室）

センシング原理の異なる3種類のセンサー（煙、イオン、熱）3組を天井の3ヶ所に設置し、信号処理にファジィ・エキスパートシステムを用いることで、火災感知においてどのように信頼性の向上を図ることができるか、また、どのように火災性状の把握を行うことができるかについて検討した。その結果、タバコの煙、湯気、虫の侵入等による非火災報の低減に有効である上、火災および非火災の発生場所の認識においても有効であることがわかった。

非火災報データの測定結果：竹元昭夫（通報設備研究室）

非火災報発生時の感知器出力データの収集を3防火対象物で実施し、非火災報及び予報の発生回数を得た。このうちホテル客室で発生した非火災報及び予報について、月別、時間別作動原因の分析結果を得ると共に、煙濃度のピーク値と継続時間の分布を得た。

これらの結果から、ホテル客室における浴室からの湯気、タバコによる非火災報は10秒程度の蓄積時間で防止できることを明らかにした。また、1種感度での予報の場合は10秒の蓄積時間で約90%の防止効果がある。

〔平成2年2月13日〕

火災初期の煙の拡散に関する数値的研究：佐藤晃由（通報設備研究室）

室内における火災熱煙流は、空調気流による影響を受けやすく、無風室内とは異なる複雑な流れになる。ここでは、このような空調下での火災の早期感知と熱煙の流れパターンを把握することを目的として、4.5m×4.5m×2.45mの室内における火災初期煙について、3次元コンピューターシミュレーションを行い、計算結果をグラフィック・アニメ化し、熱煙流と空調流の相互作用の状態を調べた。空調の方向や強さと火災発生位置の状態によっては、天井に熱・煙がほとんど到達せず、火災感知が困難である場合もあること等の知見を得た。

要救助者探査機器の開発研究：高橋哲（消火第一研究室）、渡部勇市（避難安全研究室）、松原美之（特殊火災研究室）、稲垣實（火災物理研究室）

倒壊したガレキ中に埋没した生存者を、呼気中に含まれる二酸化炭素を検出することにより探査する機器を開発するため、次のような研究を行った。①実大規模のガレキモデルでの実験により、呼気中の二酸化炭素の検出が可能であることを実証した。この際、検知器としての固体素子型の二酸化炭素分析計は測定感度と携帯性の点で現場での使用に適していることが分かった。②検知部のガレキ内進入装置として押込式と自走式の2タイプについて検討した。③進入装置先端の位置を表示するために、音の到達時間と関節の多数連結による2つの方法を検討した。

炎のちらつきによる火災の検知：笹原邦夫（第三研究部）

火点放射式簡易自動スプリンクラーシステムの火災検知部分を試作した。ここでは赤外線検知に焦電素子60素子を使用し、火災判断方法として炎のちらつき検知方法を採用した。炎のちらつき検知に関し、ガスコンロ、石油ストーブ、ガ



ストローブによる誤作動試験を行ったが作動しなかった。また、試作器を12.96㎡の居室天井に設置し、火災位置検知実験を行って計画どおりの性能をもっていることを確かめた。

〔平成2年3月12日〕

各種ノズルの散水パターンと消火効率：佐藤公雄（第二研究部）、佐宗祐子（消火第二研究室）

大量の水道水の放水が期待できない住宅でも使用できる、火点放射式の自動消火装置を開発するため、各種の住宅初期火災モデル実験により、初期火災の火災面の形状及び消火に必要な散水速度を求めた。その結果、火災感知器が火災を感知する時点での、散水する必要のある火災面の形状は、最大水平方向に40cm鉛直方向に2m程度の長方形であり、消火に必要な散水速度は3mm/minであることがわかった。この結果をもとに、これらの条件を満足する散水パターンの散水ノズルを試作した。

オキシムのDSCによる発熱特性：那波英文、長谷川和俊（危険物研究室）

8種類のオキシムの発熱開始温度と発熱量をDSC（示差走査熱量計）を用いて測定した。測定したオキシムは200～250℃で発熱を開始し、発熱量は最大で696Kcal/gであった。低分子量のオキシムの発熱量の測定は密封セルDSCを用いると可能であるが高圧DSCでは困難であることおよびオキシムのDSC測定に際してセル内の酸素を除く必要があることなどがわかった。また、一部のオキシムについて鉄管試験も行ったが、伝爆性はなかった。

林野火災の延焼予測手法：山下邦博、稲垣 實、田村裕之（火災物理研究室）

パソコンを使って林野火災の拡大を予測する手法を検討した。林野火災の拡大は、林況、地況、気象及び消防活動に影響され、これらの諸条件は各地点で異なる。そこで図面上に作成した林相データ等をパソコンとイメージスキャナーを使って計算機に入力し、これらの多量データを使った林野火災の拡大予測モデルを作成し、一つの実火災と比較してモデルの検証を行った。

〔平成2年4月9日〕

実建物火災実験における火災室から上階室に流入する有毒ガスとその毒性：守川時生、箭内英治（燃焼研究室）、渡辺貞一、岡田健夫、佐藤喜宣（杏林大学）

鉄筋コンクリート2階建て住宅の1階の1室に標準重量に近い天然及び合成の混合可燃物を収納して火災実験を行った結果、次のことが分かった。1)有毒ガスの主体はCOとHCNであることが再確認できた。2)2階室への開口はドアを閉じたときを除いては、ほんの僅かの隙間がある程度に塞いでも、場所の上下を問わずガスの毒性は致死の起こるほどの高さに達する。3)2階室のガスにばく露したラビットの血液分析では、CN<sup>-</sup>濃度は2.0μg/ml以下と低く、COHb飽和度も50%以下の場合が多いが、他の有毒ガスが殆ど存在しないことから、ラビットの致死にはHCNの影響があったものと思われる。

アクリル・ポリクラルール繊維織物の高度難燃性の評価：箭内英治（燃焼研究室）、斎藤直（消火第二研究室）

非溶融性繊維織物の高度難燃性能試験に用いたプロトタイプの試験装置で、火炎に接した際、主に軟化・収縮するポリクラルール・アクリル繊維の高度難燃性能試験を行った。その際、試料保持方法として新たに考案した試料押え枠を採用した。その結果これらの試料の高度難燃性能をランク付けして評価することができた。

ポリエステルなどの熱溶融性試料の高度難燃性能試験方法に関する問題が残されている。

地震時出火件数の時間別発生分布：関沢愛（地震防災研究室）

関東大震災、福井地震、1968年十勝沖地震の火災事例で、出火原因、及び出火時間が判明している火災データに基づいて、地震発生後60分以内の出火原因別・時間経過別の火災発生累積頻度分布を求め、これらについてワイブル分布による近似を行い、その妥当性を示した。また、季節・時間帯別の出火原因内訳比率を考慮した地震火災の時間的発生分布のワイブル近似を「冬の夕方」及び「夏の夕方」について行った。その結果、累積確率50%の時間は、概ね地震後5分程度であることが分かった。

〔平成2年5月14日〕

室内火災煙の拡散測定：河関大祐、佐藤晃由（通報設備研究室）

煙濃度分布を、より把握しやすくするため、天井の25ヵ所に光電式煙感知器を取り付け、その測定データをコンピュータのCRT上に等濃度曲線で表示することにより、煙濃度分布ならびにその時間的変化を可視化する方法を開発した。このシステムを用いて、各種発煙や湯気等の拡散、煙感知器の遮光カバーの有無による応答の差異の検討を行った結果、煙、湯気の移動速度、感知器遮光カバーの影響等に関して、いくつかの知見を得た。

肉盛溶接補修を施した石油タンク底板の疲労強度：山田 實、亀井浅道、天野久徳（消防機械研究室）

経年損傷を受けたタンク底板の強度評価を行い、そのタンク底板に実態上行われている補修を施し、強度上の安全性を調べた。その結果、腐食によるタンク底板表面の凸凹形状に対する応力集中度は境界要素法により評価できること、肉盛溶接補修を施したタンク底板の試験片による疲労強度（S-N曲線）が得られたこと、補修タンク底板の強度は腐食しない健全なものと比較し、ほぼ同じ程度まで回復していることを明らかにした。

〔平成2年6月11日〕

集積燃料の燃焼性、消火上の問題点：高橋 哲（消火第一研究室）

9種類のプラスチックおよび木材の丸棒を、一本の場合、二本を隣接させた場合、及び多数をクリブ状に組んだ場合について、燃焼を継続させるのに必要な酸素濃度の測定を行った。その結果、集積度が増す程限界酸素濃度は下がり、プラスチックでは2～7%の範囲、木材では約11%であった。この結果は、二酸化炭素消火器による消火の難易の序列とよく一致した。

原油燃焼時に見られる水沸騰現象：古積 博（情報処理研究室）、M. Kokkola（フィンランド技術研究センター）

アラビアライト原油を水を張ったタンク内で燃焼させて燃焼後半に見られる水沸騰現象について調べた。原油の温度は燃焼と共に徐々に上昇し、水沸騰が始まる直前では概ね400℃程度にまで達した。水沸騰が起こると火災が大きくなり、また、その温度も高くなるので周囲への放射熱も大きくなった。この現象はボイルオーバーの一種とも考えられる。

小型模型によるトンネル内の火災実験——流体燃料の燃焼性状——：渡部勇市、宮崎早苗（避難安全研究室）

天井の高さを0.15～0.75m（長さは7.2m、幅は0.6mに固定）に変えることができるような小型模型トンネル内でn-ヘプタンを燃焼させ燃焼速度、火炎の長さ等を測定した。その結果、小型模型トンネルのサイズにおいては、 $B \cdot H^{3/2} / A_f$ （B：トンネル幅m、H：天井高さm、 $A_f$ ：燃焼皿の面積 $m^2$ ）が約20前後で燃焼速度は最大となり、開放空間での燃焼時に比べ約7倍程度大きい燃焼速度が得られた。このとき、天井に沿って流れ出した火炎の長さは、天井高さの約6倍まで伸長した。

〔平成2年7月9日〕

消研21型三連はしごの強度：山田 實、亀井浅道（消防機械研究室）

市販の積載三連はしごの強度実験から得られた知見をもとに軽量積載三連はしご（消研21型三連はしご）を試作した。開発したはしごは高強度溶接構造用アルミ合金パイプ（ZK55-T6）で作られており、全重量は約21kgfで鋼管製のもの（約43kgf）の約半分である。このはしごの静荷重及び動荷重に対する強度実験の結果、鋼管製のものよりも高い安全性を有しており、消防活動に使用できるものであることが明らかになった。

コントラスト測定による煙検知：河関大祐（通報設備研究室）

煙の色の影響を受けにくく、コントラスト情報の得られる新型煙感知器開発のための基礎資料を得ることを目的とし、2個のフォトセルを用いて背景のコントラストの測定を行い、そのコントラスト情報から煙の存在を検知し、2個のフォトセル信号から白煙、黒煙を識別する実験を行った。その結果、煙によるコントラスト減衰量の測定は煙の白黒に関係なく測定できることから白煙、黒煙共に煙の存在が検知でき、また、煙の白黒を識別することが可能なことがわかった。

〔平成2年10月8日〕

石油タンク火災に対する水溶性溶剤用高分子ゲル生成型泡消火剤の消火性能：星野 誠（施設安全研究室）、林 幸司（消火設備研究室）

発泡倍率が高い8倍以上の場合、フッ素タンパク泡に比べ耐再燃性能を含む消火性能が劣る水溶性溶剤用高分子ゲル生成型泡の発泡倍率を2.5倍に下げたときに、消火性能がどの様になるかを調べた。実験は大規模石油タンク火災を小規模の模型によって再現できるように考案した1.5m角2重壁タンクを用いて、側壁面流下方式によるガソリン火災の屋内消火実験を行った。その結果、消火時間は短く、フッ素タンパク泡の1/2の時間で消えた。しかし、消火後のトーチ試験では全面火災となった。

液体表面上の火災伝播：M. KOKKALA（フィンランド技術研究センター）、古積 博（情報処理研究室）

灯油、灯油とヘプタンの混合物及び原油上での火災伝播の挙動について実験的に研究した。火災伝播速度は、燃料層の厚さ、温度、燃料の引火点、燃焼点によって大きく影響を受ける。また、燃料層が非常に薄い場合、燃料の下に水が存在すると、火災伝播速度は低下する。原油は引火点が低いが、火災伝播速度は灯油、灯油とヘプタンの混合物に比べて小さいことがわかった。

煙粒子による光の減衰を利用した火災煙と非火災煙の識別：竹元昭夫（通報設備研究室）、神戸祥明・広野淳之（松下電工（株））

異なる三種類の波長別の光の減衰量から、火災煙と非火災煙の識別の可能性について調べた。試作した透過光式煙センサを1㎡の箱内に取付け、タバコ・調理の煙等の非火災煙と木材くん焼・液体燃料等の火災煙の測定を行った。

短波長、中間波長、長波長の減光係数をそれぞれB、G、Rとし、各波長の比を求めて比較した結果、B/Rの場合が、火災煙と非火災煙の識別の可能性の大きいこと、また、煙濃度が薄い方が識別し易いことが判った。

〔平成2年11月19日〕

自動架梯装置の作動アルゴリズムとその実験的考察：亀井浅道、山田 實（消防機械研究室）、天野久徳（東京消防庁）

はしご車の梯体を目標位置に架梯するための装置（自動架梯装置）の作動アルゴリズムを開発した。これは、測距、測角機能を提供した照準器の座標系で表わされた座標点を梯体系の座標系に変換する論理を主体に構成されている。

模型ははしご（4段；全長5m；油圧及びパルスモータ駆動）を作成し、本アルゴリズムに従って作成したソフトで作動実験を行った。その結果、このアルゴリズムの妥当性が確かめられた。

火災熱気流の周期的変動：佐藤晃由（通報設備研究室）

火災燃焼ガス流の複雑な乱流挙動に及ぼす渦の影響及び発生状態を解明することを目的として、火災室にみられる周期的な渦の変動現象を次の3例について調べた。①天井と床に開口部がある室内の床中央で火災が発生した場合、②無開口室内における初期くん焼火災煙の場合、③高層ビル火災室から噴出し外壁沿いに上昇する火災気流の場合。実験及び数値計算結果から、これらの火災気流の変動周期は火災発熱速度の1/3乗に依存し、無次元振動数と無次元発熱速度による同一の関係式で記述されることがわかった。

地下構造と長周期地震動（その5 気象庁1倍強震計記録に見られる長周期地震動の地域特性）：座間信作（第3研究部）

長周期地震動が卓越しやすいとされている新潟、館山、東京の気象庁1倍強震計記録を収集し、波形全体からみた長周期地震動の卓越度、主波群の卓越周期について震源地別に検討を行った。卓越度は震源地に大きく依存するとともに、波動伝播経路に厚い堆積層を含むか否かにも関係する。卓越周期についても、震源及び伝播経路の影響が強く認められる。平均的には、卓越周期は新潟、東京、館山の順で長く、堆積層の厚さと相関があると考えられる。

地下構造と長周期地震動（その6 東京湾岸で観測される長周期地震動——1990年2月20日伊豆大島近海の地震——）：座間信作（第3研究部）

標記地震では東京湾岸域で長周期地震動が優勢に現われた。この地震動の卓越周期は約8秒で、Transverse成分で大きく、分散性を有することからLove波であることが示された。富津-千葉間では伝播距離の増大とともに周期8秒のLove波が2倍にも成長し、速度応答スペクトル（減衰定数0.1%）で40kineに達することが判った。また後続位相にも周期8秒の顕著な波群が認められ、数値計算結果との比較から、この波群は不規則な地下構造の影響による反射Love波と判明した。

〔平成2年12月10日〕

消火設備等地下埋設管の地盤の液状化による被害：吉原 浩（第2研究部）

地震時における地盤の液状化が、地下埋設管等の埋設物にどのような被害をもたらしてきたかを把握するため、消火力への影響として、配水管・消火栓・防火水槽等消防水利の被害を、また、災害要因の1つである危険物施設の被害について、新潟地震以降を対象として既存の資料により調べた。

その結果、防火水槽が有効であること、地下タンクの浮き上がりによる被害が多く、浮き上がり対策検討の必要性があること等が分かった。

少量のガス系消火剤による消炎濃度の測定法：佐宗祐子、斎藤 直、岩田雄策（消火第2研究室）

消火剤の性能評価を少量の試薬で行う目的で、カップバーナー装置の小規模化を試みた。円筒およびカップの径が異なる3種類のカップバーナー装置を用い、カップの上端から液面までの距離を変化させて、エタノール、n-ヘプタン及びトルエンについて質量燃焼速度とハロン1301による消炎濃度を測定した。いずれの燃料についても液面位置が下がると質量燃焼速度は減少した。消炎濃度は、燃料の種類、液面位置、ハロン1301の添加時間および装置の径により様々な変化を示した。

石油タンク火災におけるボイルオーバ：長谷川和俊（危険物研究室）

石油類タンク火災の中で最も危険なボイルオーバ現象について解説した。従来の研究として、Hallの仮説、Burgoyne & Katanの研究、Blinov & Khudyakovの仮説および長谷川の研究について概説した。災害例として、ベネズエラのタコア発電所、英国のアモコ製油所、ギリシャのテサロニケ油槽所、フランスのジェル油槽所の爆発火災を紹介した。最後に、ボイルオーバへの対応策について述べた。

消 研 輯 報 第 44 号

平 成 3 年 3 月 印 刷

編 集 者 兼  
發 行 者

自 治 省 消 防 庁 消 防 研 究 所

東 京 都 三 鷹 市 中 原 3 丁 目 14 - 1  
電 話 武 蔵 野 三 鷹 (0422)44 局 8331